



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO E
DURABILIDADE DE BLOCOS DE CONCRETO PRÉ MOLDADOS
COM ADIÇÃO DE CINZA DA CASCA DE ARROZ**

Douglas Bastos Soares

Lajeado, junho de 2020

Douglas Bastos Soares

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO E DURABILIDADE
DE BLOCOS DE CONCRETO PRÉ MOLDADOS COM ADIÇÃO DE
CINZA DA CASCA DE ARROZ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
da Universidade do Vale do Taquari - Univates,
como parte dos requisitos para a obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof. Ma. Débora Pedroso Righi

Lajeado, junho de 2020

Douglas Bastos Soares

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO E DURABILIDADE
DE BLOCOS DE CONCRETO PRÉ MOLDADOS COM ADIÇÃO DE
CINZA DA CASCA DE ARROZ**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Ma. Débora Pedroso Righi - Orientadora
Universidade do Vale do Taquari

Prof. Mr. Rodrigo Spinelli
Universidade do Vale do Taquari

Dra. Bruna Kuffner
Universidade Federal de Itajubá

Lajeado, junho de 2020

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, tenho muito à agradecer a minha família, por todo incentivo, dedicação, por todo esforço que tiveram para me proporcionar condições de estudo e pelo apoio incondicional em todas as escolhas da minha vida.

Agradeço a minha namorada, Paola Weber. Nos conhecemos ao longo da graduação, mas foi nos últimos semestres que acabamos nos aproximando mais, e sua ajuda foi de suma importância, dando-me forças para continuar.

Agradeço a minha querida professora e orientadora Ma. Debora Pedroso Righi, por todo apoio e auxílio ao decorrer desses dois semestres, sempre disposta a ajudar e resolver as dúvidas que surgiram ao longo desta pesquisa.

Aos demais professores da graduação, bem como a Universidade do Vale do Taquari, por todos os ensinamentos. Aos colegas e aos meus amigos que me acompanharam ao longo desta graduação.

Por fim, agradeço a empresa Strada Concretos, que desde o início de planejamento desta pesquisa sempre me motivaram e deram total apoio, cedendo materiais, maquinário e sempre dispostos a ajudar.

RESUMO

O arroz é um produto que está presente em grande parte do mundo, com um grande volume de resíduos gerados no processo de produção sendo descartados de forma incorreta no meio ambiente. Existem estudos voltados à utilização da cinza da casca de arroz sendo empregada como agregado aglomerante na composição do concreto. No presente trabalho buscou-se avaliar se este material pode vir a substituir em parte o cimento no processo de produção de blocos de concreto pré moldados, mantendo ou melhorando suas propriedades mecânicas e físicas, relacionando com questões viáveis de acessibilidade e economia. A pesquisa contemplou os ensaios de resistência à compressão axial, índice de absorção e resistência a abrasão. Foram moldados corpos de prova utilizando como base o formato de pavimentos intertravados com traço de 0%, 5%, 10% e 15% de substituição parcial do cimento por cinza da casca de arroz, submetidos a ensaios nas idades de 7, 14 e 28 dias. Os resultados encontrados demonstraram que a substituição parcial de cimento por cinza da casca de arroz pode vir a ser uma oportunidade viável na construção civil, sendo que o traço de 15% foi o que obteve maior destaque entre os demais, se tornando uma possibilidade para que este material tenha uma destinação mais sustentável.

Palavras-chave: Cinza da Casca de Arroz (CCA). Concreto. Pavimento intertravado. Ensaios de caracterização.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Via Ápia: pavimentação com pedras entalhadas..... | 20 |
| Figura 2 - Estrutura de pavimento asfáltico..... | 22 |
| Figura 3 - Estrutura de pavimento de concreto de cimento Portland..... | 23 |
| Figura 4 - Pavimento intertravado de pedras em forma de prisma retangular..... | 24 |
| Figura 5 - Exemplo de estrutura típica de pavimento intertravado..... | 25 |
| Figura 6 - Fabricação com máquina vibro - compressora..... | 26 |
| Figura 7 - Tipologias de blocos intertravados..... | 27 |
| Figura 8 - Formas de pavimentos do Tipo 1..... | 27 |
| Figura 9 - Casca de arroz..... | 30 |
| Figura 10 - Principai aplicações para a casca de arroz..... | 31 |
| Figura 11 - Local de aterro de CCA..... | 32 |
| Figura 12 - Programa experimental..... | 34 |
| Figura 13 - Agitador mecânico de peneiras..... | 37 |
| Figura 14 - Conjunto areia mais recipiente..... | 40 |
| Figura 15 - Verificação da areia em estado saturado..... | 41 |
| Figura 16 - Areia em situação saturada com superfície seca..... | 41 |
| Figura 17 - Conjunto frasco + amostra de areia..... | 42 |
| Figura 18 - Conjunto pó de brita mais recipiente..... | 46 |
| Figura 19 - Pó de brita em condição saturado com superfície seca..... | 47 |
| Figura 20 - Conjunto frasco + amostra pó de brita..... | 48 |
| Figura 21 - Conjunto brita mais recipiente..... | 52 |
| Figura 22 - Massa do agregado saturado com superfície seca..... | 53 |
| Figura 23 - Conjunto cesto de arame + agregado submergido..... | 54 |
| Figura 24 - CCA usada para a produção dos blocos..... | 57 |

| | |
|--|----|
| Figura 25 - Forma para fabricação dos blocos de concreto..... | 59 |
| Figura 26 - Conchas de insumos..... | 60 |
| Figura 27 - Esteira de despejo do concreto fresco..... | 60 |
| Figura 28 - Molde dos blocos de concreto..... | 61 |
| Figura 29 - Blocos na câmara de cura..... | 61 |
| Figura 30 - Mesa de controle da produção..... | 62 |
| Figura 31 - Prensa Hidraulica..... | 63 |
| Figura 32 - Corpos de prova separados para iniciar os ensaios..... | 64 |
| Figura 33 - Corpos de prova identificados..... | 64 |
| Figura 34 - Preparação da base para capeamento..... | 65 |
| Figura 35 - Argamassa disposta sobre a bancada..... | 65 |
| Figura 36 - Corpo de prova com capeamento de argamassa..... | 66 |
| Figura 37 - Blocos submersos na caixa d'água..... | 66 |
| Figura 38 - Ensaio de resistência..... | 67 |
| Figura 39 - Blocos em estado de saturados com superfície seca..... | 68 |
| Figura 40 - Tambor rotativo de bolas..... | 69 |
| Figura 41 - Blocos dentro do tambor rotativo..... | 69 |
| Figura 42 - Corpos de prova antes e depois do ensaio..... | 70 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia..... | 40 |
| Gráfico 2 - Curva granulométrica do pó de brita..... | 46 |
| Gráfico 3 - Curva granulométrica da brita..... | 52 |
| Gráfico 4 - Resistência à Compressão Axial..... | 73 |
| Gráfico 5 - Índice de absorção dos corpos de prova..... | 75 |
| Gráfico 6 - Resistência à abrasão Los Angeles..... | 76 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Produção nacional de arroz referente a 2017/ 2018..... | 31 |
| Tabela 2 - Distribuição granulométrica da areia..... | 39 |
| Tabela 3 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo..... | 39 |
| Tabela 4 - Distribuição granulométrica do pó de brita..... | 45 |
| Tabela 5 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo..... | 46 |
| Tabela 6 - Distribuição granulométrica da brita..... | 51 |
| Tabela 7 - Limites da composição granulométrica do agregado graúdo..... | 52 |
| Tabela 8 - Composição química da Cinza de Casca de Arroz..... | 57 |
| Tabela 9 - Propriedades da Cinza de Casca de Arroz..... | 57 |
| Tabela 10 - Traço unitário determinado..... | 58 |
| Tabela 11 - Traço quantificado em massa..... | 59 |
| Tabela 12 - Resistência característica à compressão..... | 74 |
| Tabela 13 - Índice de absorção de água..... | 75 |
| Tabela 14 - Comparação de custos referência de pesquisa x referência SINAPI.... | 77 |
| Tabela 15 - Comparação de custos de traços com utilização de CCA..... | 78 |
| Tabela 16 - Comparativo entre os resultados obtidos de cada traço..... | 79 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------------|--|
| μm | Micrômetros |
| ABCP | Associação Brasileira de Cimento <i>Portland</i> |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes |
| cm^3 | Centímetro cúbicos |
| mm | Milímetros |
| ml | Mililitro |
| CP | Cimento <i>Portland</i> |
| DMC | Diâmetro máximo característico |
| g | Gramas |
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> |
| kg | Quilogramas |
| kN | Unidade de medida de força, Quilonewtons |
| kPa | Kilopascal |

| | |
|----------------|---|
| LATEC | Laboratório de Tecnologia de Construção |
| m ³ | Metros cúbicos |
| R\$ | Reais |
| MF | Módulo de finura |
| MPa | Unidade de medida de força, Megapascal |
| NBR | Norma Brasileira |
| NM | Norma Mercosul |
| ASTM | <i>American Society for Testing and Materials</i> |
| SINAPI | Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices |
| CCA | Cinza da Casca de Arroz |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 15 |
| 1.1 Objetivo geral..... | 16 |
| 1.2 Objetivos específicos..... | 16 |
| 1.3 Justificativa da pesquisa..... | 17 |
| 1.4 Estrutura do trabalho..... | 17 |
| | |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 19 |
| 2.1 Concretos para Pavimentação..... | 19 |
| 2.2 Tipos de pavimentação..... | 20 |
| 2.3 Pavers..... | 23 |
| 2.3.1 Formato das peças..... | 26 |
| 2.4 Vantagens do uso..... | 28 |
| 2.5 Uso de materiais pozolânicos em concretos..... | 29 |
| 2.5.1 Cinza da Casca de Arroz..... | 29 |
| 2.5.2 Reação pozolânica da CCA..... | 32 |
| 2.5.3 Uso da CCA na construção civil..... | 33 |
| | |
| 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL..... | 34 |
| 3.1 Estratégia de pesquisa..... | 35 |
| 3.2 Materiais..... | 35 |
| 3.2.1 Cimento..... | 36 |
| 3.2.2 Areia..... | 36 |
| 3.2.2.1 Determinação da granulometria da areia..... | 36 |
| 3.2.2.2 Determinação da massa unitária e massa específica da areia..... | 39 |

| | | |
|---------|---|----|
| 3.2.3 | Pó de brita..... | 43 |
| 3.2.3.1 | Determinação da granulometria do pó de brita..... | 43 |
| 3.2.3.2 | Determinação da massa unitaria e massa específica do pó de brita..... | 45 |
| 3.2.4 | Brita..... | 49 |
| 3.2.4.1 | Determinação da granulometria da brita..... | 49 |
| 3.2.4.2 | Determinação da massa unitária e massa específica da brita..... | 51 |
| 3.2.5 | Água de amassamento..... | 55 |
| 3.2.6 | Aditivo superplastificante..... | 55 |
| 3.2.7 | Cinza de Casca de Arroz..... | 55 |
| 3.3 | Dosagem do concreto..... | 57 |
| 3.4 | Procedimento de moldagem..... | 59 |
| 3.5 | Ensaio..... | 62 |
| 3.5.1 | Resistência à compressão..... | 62 |
| 3.5.2 | Índice de absorção..... | 67 |
| 3.5.3 | Abrasão Los Angeles..... | 69 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 71 |
| 4.1 | Resistência à compressão axial..... | 71 |
| 4.2 | Índice de absorção dos corpos de prova..... | 73 |
| 4.3 | Resistência à abrasão..... | 74 |
| 4.4 | Análise de Custo..... | 75 |
| 4.5 | Síntese dos resultados..... | 77 |
| 5 | CONCLUSÃO..... | 79 |
| 5.1 | Conclusões e considerações finais..... | 79 |
| 5.2 | Sugestões para trabalhos futuros..... | 80 |
| | REFERÊNCIAS..... | 81 |

1 INTRODUÇÃO

Um dos alimentos mais relevantes para a alimentação humana é o arroz, recebendo destaque como base alimentar para milhares de pessoas no mundo. O Brasil está situado entre os maiores produtores mundiais de arroz, segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2018). O país apresenta uma produção de aproximadamente 11,5 milhões de toneladas colhidas na safra de 2017/2018, onde o estado do Rio Grande do Sul, por sua vez, registrou uma produção total de aproximadamente 8 milhões de toneladas, correspondendo a 75% da produção nacional.

Após o processo de colheita, são normalmente gerados diferentes resíduos, tendo como destaque a casca de arroz, principalmente pelo grande volume gerado. Segundo Tashima *et al.* (2011) cerca de 20% da produção de arroz é resultante em casca, sendo grande parte descartada de uma maneira equivocada. Normalmente o descarte é realizado em diferentes locais, sendo principalmente deixadas em lavouras e fundos de rios (POUEY, 2006).

De acordo com Hoffmann *et al.* (2010), a queima da casca de arroz para geração de energia se tornou uma alternativa altamente ética, econômica e ecológica, gerando com isso o resíduo da cinza, encontrado em larga escala nos locais de produção. De acordo com Bezerra *et al.* (2011), a cinza da casca de arroz possui em sua composição cerca de 74 a 97% de sílica, um importante componente que apresenta características como uma dureza elevada, e possível aplicação no processo de fabricação de cimentos, tintas, produtos farmacêuticos, entre outros.

Segundo Pouey (2006) se a Cinza da Casca de Arroz (CCA) for produzida corretamente irá apresentar uma alta rentabilidade econômica, além de reduzir o

impacto ambiental gerado pelo descarte. O grande destaque é a utilização deste material como aditivo em concretos, ajudando no consumo da alta demanda de materiais naturais para a construção civil. Para ser utilizada como substituição parcial de algum material existente no mercado a CCA deve seguir algumas normatizações para atender as características mecânicas.

Conforme Fernandes (2012) a utilização de pavimentos intertravados de concreto pré moldados já apresentam uma leve rentabilidade econômica e ecológica. Com o intuito de ajudar nestas questões, várias pesquisas surgiram visando empregar o uso da CCA como substituto de algum agregado na composição do concreto. O presente trabalho irá descrever a substituição do cimento pela utilização da cinza da casca de arroz como material aglomerante, em diferentes porcentagens. Essa substituição terá como finalidade a realização de testes de durabilidade de concretos fabricados com a adição de CCA em forma de cimento.

1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o uso de sílica, proveniente da queima da casca de arroz controlada em diferentes porcentagens na fabricação de blocos intertravados de concreto pré moldados.

1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as propriedades físicas dos agregados utilizados nesta pesquisa;
- Identificar os parâmetros de substituição necessários para o estudo de dosagem com os diferentes teores de substituição de cimento por CCA na produção de blocos de concreto pré moldados;
- Avaliar o efeito da incorporação de diferentes teores de CCA (0%, 5%, 10%, e 15%);

- Analisar o concreto em seu estado endurecido através da realização de ensaio de resistência à compressão axial, ensaio de absorção de água e resistência à abrasão.

1.3 Justificativa da pesquisa

O arroz é um produto que está presente em grande parte no mundo, e no processo de produção são gerados diferentes resíduos, sendo descartados de forma incorreta no meio ambiente.

O concreto composto geralmente por cimento, areia, brita e água se tornou um grande consumidor de materiais de origem natural, sendo um dos produtos mais utilizados no processo de fabricação da construção civil.

Contudo, com a provável reutilização da CCA, existem estudos voltados a utilização deste material sendo empregado como aglomerante na composição do concreto. Uma importante questão é avaliar se este material substituiria em parte o cimento no concreto, mantendo ou melhorando suas propriedades mecânicas e físicas, relacionando com questões econômicas.

1.4 Estrutura do trabalho

A pesquisa será dividida em quatro capítulos. O primeiro sendo destinado à introdução dos assuntos que serão abordados na pesquisa, justificativas, bem como objetivo geral e também objetivos específicos.

O capítulo dois abordará a revisão bibliográfica, revisando conceitos de alguns autores quanto ao uso de cinza da casca de arroz, suas características e composição. Serão abordadas as propriedades da CCA, bem como a utilização deste aglomerante ao concreto.

No capítulo três serão descritos os processos que serão realizados para chegar aos resultados esperados, bem como testes que serão executados e seus procedimentos. E no capítulo quatro será apresentado um cronograma abordando a sequência dos procedimentos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Concretos para Pavimentação

A necessidade de construir vias de transporte ligando civilizações remotas, seja por questões econômicas, religiosas, militares ou de cunho social sempre foi um ponto importante para a humanidade. Os primeiros registros de povos empenhados em construir vias nos remetem aos egípcios. Baldo (2007) ressalta que os egípcios costumavam construir drenos laterais e uma forma primitiva de pavimentação, que servia como deslocamento de desfiles e serviços religiosos.

Os Romanos herdaram vários conhecimentos dos seus povos, somando para o desenvolvimento, expansão e enriquecimento de seu império. Foram grandes contribuintes e desenvolvedores para o processo de pavimentação, contudo, as vias eram traçadas objetivando o deslocamento das forças militares, e o traçado desses caminhos seguiam em conformidade com a topografia do local, disponibilidade de material e clima da região (BITTENCOURT, 2012).

Segundo Wiebbelling (2015), para a construção das vias romanas era comumente utilizado pedras, do tipo seixo rolado, ou eram talhadas pedras manualmente em forma retangular e assentadas em solo arenoso. Em 500 a.C Roma começou a desenvolver pavimentos com uma base caracterizada granular e uma camada de rolamento de pedras, sempre motivados pela rapidez em transportar seus exércitos pelo território. Como um exemplo pode-se citar a Via Ápia na cidade de Roma, uma via feita com pedra talhada e que resistiu a todas intempéries ao longo do tempo, apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Via Ápia: pavimentação com pedras entalhadas



Fonte: Guia Viajar Melhor (2019).

As peças de concreto pré-moldadas surgiram como uma evolução aos antigos processos de pavimentação, apresentando um avanço em relação a uniformidade. Há registros de patentes que surgiram antes da Primeira Guerra Mundial, mas foi após a Segunda Guerra Mundial que este tipo de pavimento ganhou espaço na construção, servindo como alternativa de reconstrução para países destruídos como, Holanda e Alemanha. A partir dos anos 60 as peças pré-moldadas de concreto proliferaram para outros países como Estados Unidos, Austrália e Japão, e em meados dos anos 70 emergiram na América do Sul projetos de implementação deste tipo de pavimentação juntamente com diferentes sistemas de fabricação (BITTENCOURT, 2012).

2.2 Tipos de pavimentação

De acordo com o DNIT (2006), a pavimentação é definida como uma estrutura de múltiplas camadas de solos, podendo ser compostas por britas, rochas, ou a mistura de alguns materiais. Estas camadas de diferentes materiais são estabilizadas através de diferentes métodos de compactação, e através do contato

entre elas apresenta-se um elevado grau de complexibilidade, respeitando os cálculos de tensões e deformações impostas pelas resultantes de cargas do tráfego.

Conforme Camargo (2016) o pavimento é apresentado como uma estrutura constituída de múltiplas camadas de espessuras finitas, executadas sobre uma superfície final terraplanada. É tradicionalmente classificado em dois tipos, pavimento rígido e flexível, mas normalmente são reconhecidos como pavimento de concreto e pavimentos asfáltico.

A pavimentação é denominada ao local onde é realizado o tráfego de carros, ônibus, caminhões, bicicletas ou pessoas a pé, por consequência ocorrem esforços verticais sobre a estrutura, decorrentes do peso próprio dos mesmos, e também está sujeita a esforços horizontais. Segundo Rossi (2017), o pavimento deve ser projetado para suportar estes esforços, resistindo e distribuindo para sua estrutura independente da intensidade, objetivando uma maior durabilidade, trazendo conforto para o tráfego e minimizando possíveis acidentes.

O pavimento normalmente é dividido em duas estruturas, sendo, rígidos ou Flexíveis. Segundo o DNIT (2006) a classificação é dada em três pavimentos tipos, adicionando o grupo Semi-rígido aos demais.

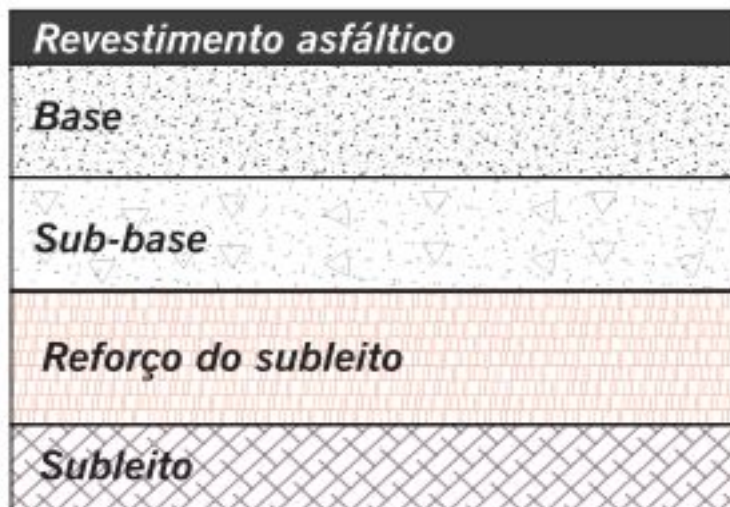
- Pavimentos Flexíveis

Conforme o DNIT (2006) são pavimentos em que todas as camadas sofrem uma deformação elástica significativa, sendo influenciadas pelo carregamento aplicado e, gerando uma carga que se distribui parcialmente entre todas as camadas. Podem ser constituídas por uma base britada ou por uma base de solo pedregulhoso, e sua camada de rolamento normalmente apresenta material asfáltico.

Segundo Bernucci *et al.* (2010), os pavimentos flexíveis são geralmente associados aos pavimentos asfálticos, compostos por uma camada superficial asfáltica, denominada revestimento, e apoiada sobre uma camada de base, de sub-base e se necessário uma camada de reforço de subleito. Esta estrutura pode

ser observada na Figura 2. Dependendo da característica do tráfego, dos solos ou do ambiente climático, algumas camadas podem ser suprimidas.

Figura 2 - Estrutura de pavimento asfáltico



Fonte: Bernucci *et al.* (2008).

- Pavimentos Semi-Rígidos

De acordo com Bernucci *et al.* (2008), este tipo de pavimento se caracteriza por apresentar um comportamento intermediário entre o pavimento flexível e o rígido. É comumente revestido por uma camada asfáltica seguido por uma base cimentada, composta por algum solo que tenha recebido a incorporação de um aglutinante cimentício (DNIT, 2006).

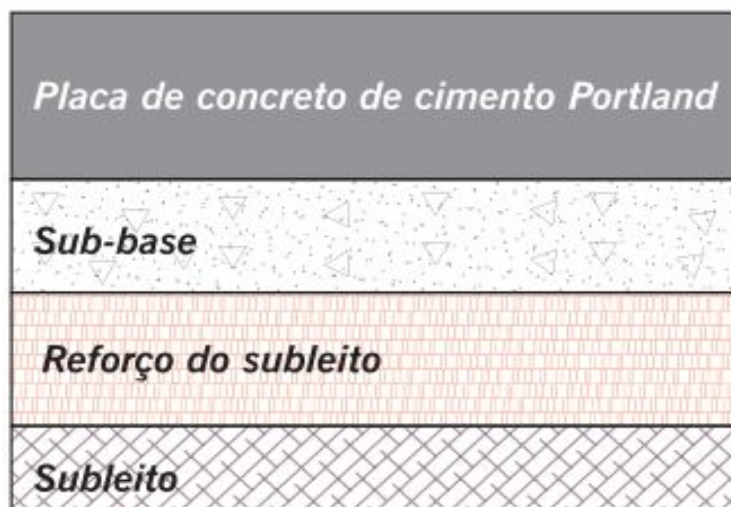
- Pavimentos Rígidos

Conforme o DNIT (2006) o pavimento rígido apresenta uma elevada rigidez, onde a camada de rolamento absorve praticamente a totalidade das tensões recebidas pelo carregamento.

O pavimento rígido é normalmente associado ao concreto de cimento Portland. A Figura 3 apresenta esta estrutura, composta por uma camada de revestimento de cimento, executada sobre uma camada de material granular denominada sub-base. Esta camada é assentada sobre o subleito e caso necessite

poderá ser aplicada uma camada de reforço de subleito na estrutura (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Figura 3 - Estrutura de pavimento de concreto de cimento Portland



Fonte: Bernucci et al. (2008).

2.3 Pavers

Conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013) o paver ou piso intertravado, são peças pré-moldada de concreto, as quais são utilizadas na construção civil para compor o revestimento de calçadas e de pavimentos. A superfície desse pavimento deve apresentar um acabamento que suportará o trânsito de pessoas, veículos leves ou veículos pesados.

A utilização de blocos de concreto pré-moldados destinados ao revestimento de pavimentações serve como uma alternativa estrutural ao processo de pavimentação flexível. Köhler (2013) ressalta a evolução e a inovação deste material, quanto a tamanhos e durabilidade em relação ao sistema precursor, onde eram utilizados blocos de pedras entalhadas (FIGURA 4).

Figura 4 - Pavimento intertravado de pedras em forma de prisma retangular

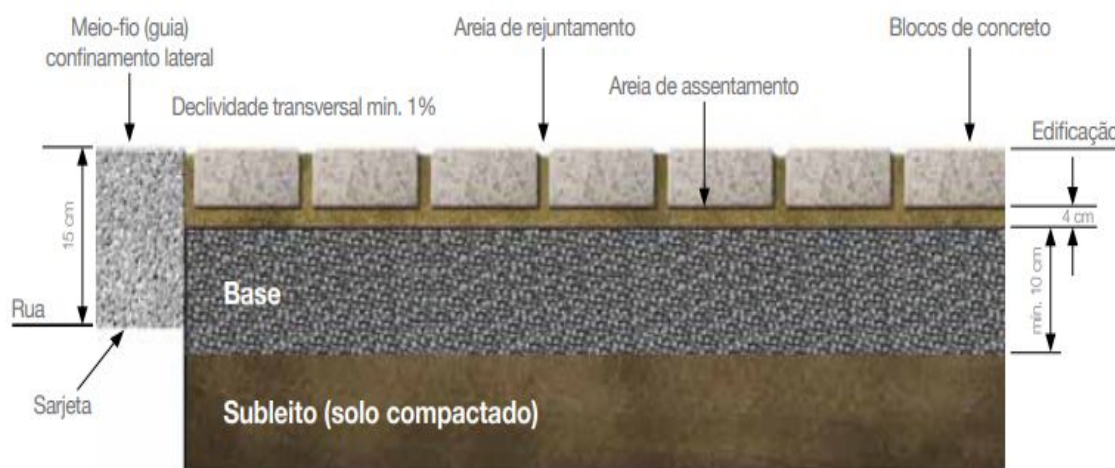


Fonte: ABCP - Manual de pavimento intertravado: passeio público (2009).

Um dos conceitos do pavimento intertravado é que cada tipo pode ser adaptado às condições do local onde é construído, satisfazendo as condições de tráfego da região que será submetido pelo tempo de vida útil (SENÇO, 2001). Segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013) os pavers são divididos em duas classes, delimitadas pela mínima resistência característica à compressão, onde para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha devem apresentar resistência característica de 35 MPa, e para suportar o tráfego de veículos especiais e possíveis solicitações de abrasões acentuadas, este pavimento deve suportar uma compressão de 50 MPa.

De acordo com Fernandes (2012) a principal característica da aplicação dos pavers é a simplicidade de colocação, normalmente assentados sobre uma camada de areia, estruturado sobre uma camada de base e de solo previamente compactado (FIGURA 5). Este tipo de pavimento é sustentado pelo conceito de intertravamento, onde a transmissão das cargas de cada peça é efetuada para a peça vizinha através do atrito lateral entre elas, impedindo os deslocamentos verticais, horizontais ou de rotação. Os pavers apresentam um leve fator de permeabilidade, permitindo a passagem de uma pequena parte de água da chuva para o mesmo, contribuindo para a hidratação do solo, mas não a ponto de correr riscos estruturais.

Figura 5 - Exemplo de estrutura típica de pavimento intertravado



Fonte: ABCP - Manual de pavimento intertravado: passeio público (2009).

Ainda segundo Fernandes (2012), o paver pode ser produzido por, pelo menos, três processos de fabricação bem distintos, sendo:

- Processo dormido - Onde o concreto é despejado em um molde e deixado de um dia para o outro, por ser usado moldes de plástico, aço ou fibra este paver fica com um acabamento muito liso, sendo destinado a uso em áreas internas.
- Processo virado - Este é um processo bem simples, necessitando apenas de betoneira para misturar o concreto, mesa vibratória e um jogo de 4 a 6 formas metálicas. Estas formas são cheias e imediatamente viradas para baixo sobre uma superfície plana, lisa e untada com óleo. O consumo de cimento é baixo, por empregar uma camada fina de acabamento sobre uma camada grossa caracterizada por bastante agregado graúdo. Apresenta mau acabamento devido a desforma do concreto em estado fresco e baixa produtividade em relação ao processo prensado.
- Processo prensado - Este processo é o mais usado no mundo e resulta em um bloco de maior desempenho estético e mecânico. Requer maiores investimentos e cuidados na produção, mas proporciona uma maior produtividade. É utilizado concreto semi-seco, denominado farofa,

empregando agregados com grãos mais finos para produzir peças com melhor acabamento (FIGURA 6).

Figura 6 - Fabricação com máquina vibro-compressora

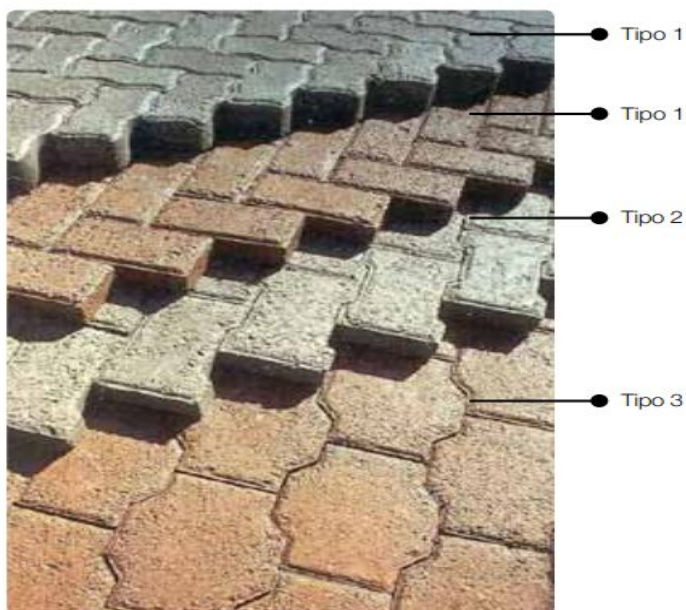


Fonte: ABCP - Manual de pavimento intertravado: passeio público (2009).

2.3.1 Formato das peças

Os pavers podem ser fabricados em inúmeros formatos. Fernandes (2012), comenta que existem no mundo mais de 50 modelos de pavers, diferenciando inclusive suas utilidades, como, pisos ecológicos que possibilitam a relação com grama, segregadores de tráfego, orientação para deficientes visuais, entre outras utilidades. Conforme o Manual de Pavimento Intertravado (ABCP, 2009) os blocos intertravados (FIGURA 7) podem ser classificados em três tipologias básicas:

Figura 7 - Tipologias de blocos intertravados



Fonte: ABCP - Manual de pavimento intertravado: passeio público (2009).

Tipo 1: É constituído por formas retangulares e traz facilidades na produção e na colocação em obra. São usualmente produzidos sobre as dimensões de 20 cm de comprimento por 10 cm de largura, sendo que a altura pode variar nas dimensões de 60 mm, 80 mm ou 100 mm. As faces dessas peças podem ser retas, poliédricas ou curvilíneas (FIGURA 8). São pavers comercialmente mais comuns e são conhecidos como pavimento Unistein e Holandês.

Figura 8 - Formas de pavimentos do Tipo 1



Fonte: ABCP - Manual de pavimento intertravado: passeio público (2009).

Tipo 2: É representado por peças que apresentam o formato “I” e pode apenas ser montado em fileiras travadas. As dimensões de produções são as mesmas do Tipo 1.

Tipo 3: São peças relativamente maiores que as do Tipo 1 e 2, não podendo ser carregadas com apenas uma mão, as dimensões iniciam em 20 x 20 cm.

2.4 Vantagens do uso

Os pavers possuem um destaque considerável na pavimentação urbana do país. A produção deste material vem a aumentar com a apresentação das vantagens técnicas que este tem a oferecer. É destacável a facilidade de assentamento desses blocos, diminuindo consideravelmente o tempo de execução da obra e liberação do tráfego para circulação de pedestres e veículos, além de proporcionar uma praticidade na manutenção, visto que a peça de concreto pode ser extraída e recolocada com uma pequena porcentagem de perda de material (KÖHLER, 2013).

Segundo Fernandes (2012) as peças de pavers, por serem mais claras que o revestimento asfáltico convencional, absorvem uma quantidade menor de calor oriunda dos raios solares, proporcionando um maior conforto térmico superficial. Possuem também a característica de serem permeáveis, facilitando a microdrenagem das águas pluviais.

A produção quando bem executada traz uma peça de concreto com uma alta capacidade estrutural e grande resistência a abrasão. Quando estes são produzidos com concreto de boa qualidade, também apresentam uma grande uniformidade dimensional (CLEMENTINO et al., 2014).

Conforme Köhler (2013), quando um pavimento de concreto pré-moldado é executado da maneira correta, ou seja, atendendo os requisitos mínimos, sub-base bem executada, boa qualidade dos blocos e qualidade no assentamento, este pavimento pode chegar a vida útil de 25 anos. Mas além das vantagens técnicas oferecidas pelos pavers, existe a contribuição ambiental, sendo possível a utilização

de resíduos na composição dos blocos, e a contribuição na drenagem urbana por ser semi-permeável. Ainda, segundo Köhler (2013) outro benefício é o estético, com a possibilidade de encontrar uma grande quantidade de modelos, tamanhos e cores de blocos, podendo ser assentados em diferentes formatos.

2.5 Uso de materiais pozolânicos em concretos

Conforme a NBR 12653 (ABNT, 2014), a característica pozolana é dada a materiais silicosos ou sílico aluminosos que, individualmente possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas quando moídos e misturados com água acabam formando compostos com capacidade aglomerante a partir da reação causada pelo hidróxido de cálcio. Os materiais pozolânicos podem ser divididos em naturais (de origem vulcânica ou sedimentar) ou artificiais (provenientes do processo industrial).

De acordo com Tashima *et al.* (2011) ao longo do processo de hidratação do cimento são formados alguns materiais cimentantes caracterizados como gel do tipo C-S-H ou C-A-S-H e aproximadamente 20% de hidróxido de cálcio. Nesse processo as pozolanas reagem com o hidróxido de cálcio para formar novos produtos cimentantes. Em consequência desta reação acaba-se gerando um aumento das características de durabilidade e mecânicas das argamassa e concretos.

2.5.1 Cinza da Casca de Arroz

O arroz está presente na cultura agrícola de quase todo o país, mas segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2018) a maior parte da produção ocorre em 5 estados, sendo, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Mato Grosso, Maranhão e Tocantins. Algumas pequenas produções nos estados onde passa o Rio São Francisco também possuem destaque na produção nacional de arroz. Os números para a produção 2017/2018 são ilustrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Produção nacional de arroz referente a 2017/ 2018

| Ano Safra 2017/2018 | (mil Toneladas) | % |
|-------------------------------|-----------------|---------------|
| Produção Nacional | 11.532 | 100,00 |
| Principais estados produtores | | |
| Rio Grande do Sul | 7.947 | 68,9 |
| Santa Catarina | 1.135 | 9,8 |
| Tocantins | 688 | 6,0 |
| Mato Grosso | 469 | 4,1 |
| Maranhão | 312 | 2,7 |
| Total | 10.552 | 91,5 |

Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2018).

A grande produção de arroz acarreta em uma quantidade significativa de rejeito. Segundo Tashima *et al.* (2011), cerca de 20% da produção é casca, e cada vez mais surgem novos estudos sobre o reaproveitamento e utilização desse material no processo de construção civil. Mas este resíduo resultará em um rentável valor econômico, apenas se apresentar uma alta qualidade em questões de produção e controle de queima.

Figura 9 - Casca de arroz



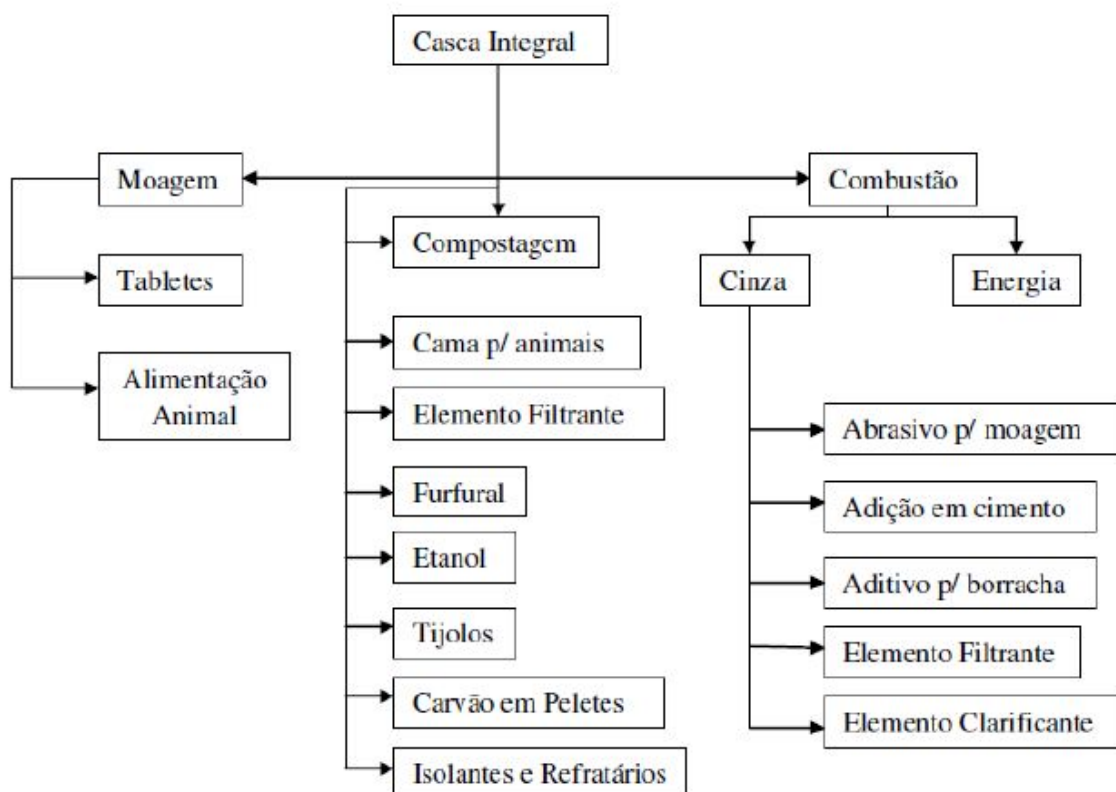
Fonte: Engenharia é (2017).

De acordo com Ludwig (2014) , durante o processo de crescimento e desenvolvimento da planta a casca de arroz armazena sílica que provém do solo, e

a quantidade residual deste material irá depender de condições do clima e ações de fertilizantes.

Segundo Tashima *et al.* (2011), a geração de energia para o processo de secagem e parboilização dos grãos de arroz é a principal aplicação da casca de arroz. Isso se deve pelo fato deste material apresentar um alto poder calorífico, sendo uma grande fonte alternativa de geração de energia. Mas em resultado a este processo, são produzidas grandes quantidades de cinza que são descartadas de maneira inadequada no meio ambiente. Na Figura 10 estão demonstradas algumas das principais aplicações para a casca de arroz.

Figura 10 - Principais aplicações para a casca de arroz



Fonte: Tashima *et al.* (2011)

A casca de arroz para ser utilizada como material pozolânico no concreto precisa passar por um processo de queima. Segundo Isaia (2011) a eficiência da cinza de casca de arroz (CCA) para ser usada como material pozolânico irá depender do controle realizado no processo da queima do material. A execução da

queima controlada, ocorre em temperaturas entre 500 a 700°C, e o resultado desse processo são cinzas amorfas de alta pozolanicidade, caracterizadas com propriedades de baixa condutividade térmica e elevada resistência ao choque térmico. Após a queima essa cinza é depositada em locais de aterro como mostra a Figura 11.

Figura 11 - Local de aterro de CCA



Fonte: POUEY (2006).

Conforme Pouey (2006) as impurezas e mudanças de temperatura presentes no processo de queima irão influenciar na variação de coloração da cinza, com uma cor mais escura influenciada pela grande presença de carbono e baixa quantidade de matéria orgânica, e uma cor mais clara apresentada pela queima de um material oxidado.

A cinza de casca de arroz apresenta uma quantidade superior a 85% de sílica, e sua massa específica é semelhante à da sílica ativa e menor do que a do cimento Portland (ISAIA, 2011).

2.5.2 Reação pozolânica da CCA

A CCA apresenta uma grande quantidade de dióxido de silício (SiO_2), variando entre 74 a 97%. Este material quando reduzido a pó fino e entrando em contato com a presença de água, resulta em silicatos de cálcio hidratados (C-S-H) ,

uma reação que se assemelha a do cimento Portland hidratado, principal fonte de cálcio para reações pozolânicas. A resistência das pastas de cimento hidratadas sofrem influência da reação de fases químicas com maior estabilidade e poder aglomerante, resultantes das reações pozolânicas (BEZERRA et al., 2011).

Segundo Bezerra *et al.* (2011), após a sílica terminar de reagir quimicamente, ela passa de um estado caracterizado como aglomerante, para um estado de filler inerte. Este material atua em concretos e argamassa contribuindo para melhorar o empacotamento da mistura, preenchendo os vazios entre as partículas de cimento. Essa atribuição acarreta em uma mistura com maior fluidez diminuindo a relação água/cimento.

2.5.3 Uso da CCA na construção civil

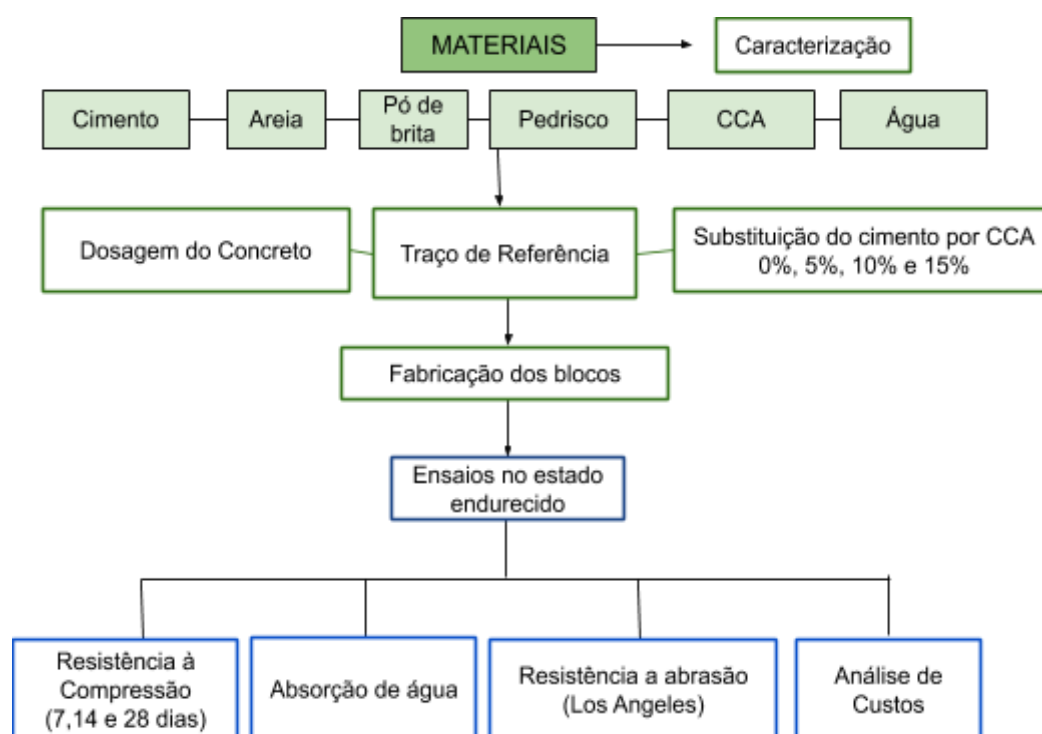
Segundo Tashima *et al.* (2011) por volta da década de 70 iniciou-se os primeiros processos de utilização de cinza da casca de arroz em argamassas e concretos, com um processo controlado de queima da casca para obter uma cinza de excelente qualidade.

Estudos apontam que a cinza de casca de arroz pode ser utilizada em substituição parcial ao cimento Portland, e a qualidade da mistura irá depender das propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos compostos (TASHIMA *et al.*, 2011). Ainda segundo Tashima *et al.* (2011), a utilização de CCA em concretos e argamassas resulta em um aumento significativo da resistência à compressão obtidos aos 28 dias, com a substituição parcial entre 5 e 10%, chegando a ganhos de resistência de aproximadamente 24% para concretos e 28% para argamassas, em comparação as resistências nos primeiros dias.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para atender ao objetivo deste estudo foi desenvolvido um programa experimental, que abordou as características dos materiais, dosagem, ensaios e equipamentos, seguindo as conformidades da normatização brasileira. A produção dos pavimentos de concreto e os ensaios foram realizados na empresa Strada Concretos e também no Laboratório de Tecnologia da Construção da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES. As etapas estão ilustradas na Figura 12.

Figura 12 - Programa experimental



Fonte: Do autor (2019).

3.1 Estratégia de pesquisa

O procedimento do programa experimental constituiu em três etapas. Na primeira etapa foi realizada a coleta dos materiais (areia, pó de brita, brita e cimento) na empresa Strada Concretos com sede em Teutônia - RS, e a CCA foi fornecida pelo LATEC, sendo realizada a caracterização dos mesmos no LATEC e no laboratório da empresa parceira desta pesquisa.

Na segunda etapa foram desenvolvidos os corpos de prova, com um traço tomado como referência (sem CCA) e outros três traços com adições de 5%, 10% e 15% de CCA em substituição parcial do cimento Portland. Em seguida, foram executados os processos de pesagem, desmoldagem, armazenamento e cura.

Na terceira etapa foram realizados os ensaios sobre os corpos de prova, onde a verificação da resistência à compressão seguiu conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013). Também foram realizados ensaios de absorção de água, resistência a abrasão Los Angeles e feita uma análise de custos. Os ensaios de rompimento foram realizados nas idades de 7, 14 e 28 dias. Contudo, objetivou-se verificar qual porcentagem de CCA resultaria em um concreto que conseguisse manter a carga de resistência à compressão mínima de 35 MPa. Por fim, foi analisada a viabilidade econômica da substituição do cimento Portland por CCA.

3.2 Materiais

Os blocos de concreto foram fabricados com a mistura de cimento, areia, brita, pó de brita e sílica da cinza de casca de arroz (casca de arroz com controle de queima). Os materiais utilizados para a fabricação dos pavimentos são provenientes da empresa Strada Concretos e a CCA foi fornecida pelo LATEC.

3.2.1 Cimento

O cimento utilizado na fabricação dos blocos foi o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial CP V - ARI RS, da marca Supremo, que conforme a NBR 16697 (ABNT, 2018), é caracterizado por apresentar uma alta resistência inicial e alta resistência a sulfatos. É composto com uma porcentagem aproximada de 10% de fíler calcário e o restante, aproximadamente 90% de clínquer + sulfatos de cálcio. Este cimento é utilizado pela necessidade da rápida desforma dos blocos e da necessidade de uma resistência inicial considerável.

3.2.2 Areia

A areia utilizada foi classificada como areia média segundo a NBR 7211 (ABNT, 2011), sendo proveniente da região do Vale do Taquari, e foi fornecida pela empresa Strada Concretos, com sede na cidade de Teutônia. Sua granulometria varia com as dimensões de 0,15 mm até 4,75 mm. As características desta areia foram encontradas através da realização de ensaios de determinação granulométrica, massa unitária e massa específica.

3.2.2.1 Determinação da granulometria da areia

A granulometria da areia seguiu os parâmetros da NBR 248 (ABNT, 2003), que utiliza as peneiras que se encaixam na série normal. O ensaio foi realizado com a utilização de duas amostras de areia secadas em estufa a $105(\pm 5)^{\circ}\text{C}$ pelo período de 24 horas, bandejas, balança, escova de aço, pincel de nylon, agitador mecânico, e um conjunto de peneiras com abertura de 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 600 μm , 300 μm e 150 μm , que atendem às exigências da norma NM-ISO 3310-1 (ABNT, 2010).

Para a execução inicialmente foram coletadas duas amostras das baias de areia, seguindo conforme instruções da NM 26 (ABNT, 2009) onde são retiradas pequenas amostras em pontos distintos da área para assegurar a máxima caracterização do material. Essas amostras foram secadas e resfriadas à temperatura ambiente, e as massas foram diferenciadas em m1 e m2. Após a secagem das amostras, estas foram postas nas peneiras, previamente limpas e encaixadas em ordem decrescente do topo até o fundo da base.

O conjunto de peneiras foi levado ao agitador mecânico (FIGURA 13) e agitado por um tempo estipulado de 10 minutos. Após encerrado o tempo foram retiradas e medidas as massas de material retidas em cada peneira.

Figura 13 - Agitador mecânico de peneiras



Fonte: Do autor (2020).

A porcentagem de material retida em cada peneira, bem como a massa de cada amostra estão descritas na Tabela 2. A partir da Tabela 2 e da Tabela 3 descritas na NBR 7211 (ABNT, 2009) foi elaborado o Gráfico 1, onde os limites encontrados pelo ensaio foram colocados em comparação com os parâmetros de

zonas utilizáveis da norma. Foi constatado que a areia utilizada ficou dentro dos limites aceitáveis, e caracteriza este material adequado para uso.

Tabela 2 - Distribuição granulométrica da areia

| Peneiras | Amostra m1 | | Amostra m2 | | Retida Média (%) | Retida Acumulada (%) |
|--------------------------|-----------------|------------|-------------------------|------------|------------------|----------------------|
| mm | Peso Retido (g) | Retida (%) | Peso Retido (g) | Retida (%) | | |
| 9,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 6,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4,8 | 1,5 | 0,15 | 2,2 | 0,22 | 0,18 | 0,18 |
| 2,4 | 23,3 | 2,28 | 22,3 | 2,18 | 2,23 | 2,41 |
| 1,2 | 107,0 | 10,48 | 96,1 | 9,41 | 9,94 | 12,36 |
| 0,6 | 231,5 | 22,66 | 228,1 | 22,33 | 22,5 | 34,85 |
| 0,3 | 455,1 | 44,56 | 453,9 | 44,43 | 44,5 | 79,35 |
| 0,15 | 178,7 | 17,5 | 193,5 | 18,94 | 18,22 | 97,57 |
| Fundo | 24,3 | 2,38 | 25,4 | 2,49 | 2,43 | 100 |
| Total | 1021,4 | 100 | 1021,5 | 100 | 100 | 226,72 |
| Diâmetro Máximo = | | 2,4 | Módulo de Finura | | 2,27 | |

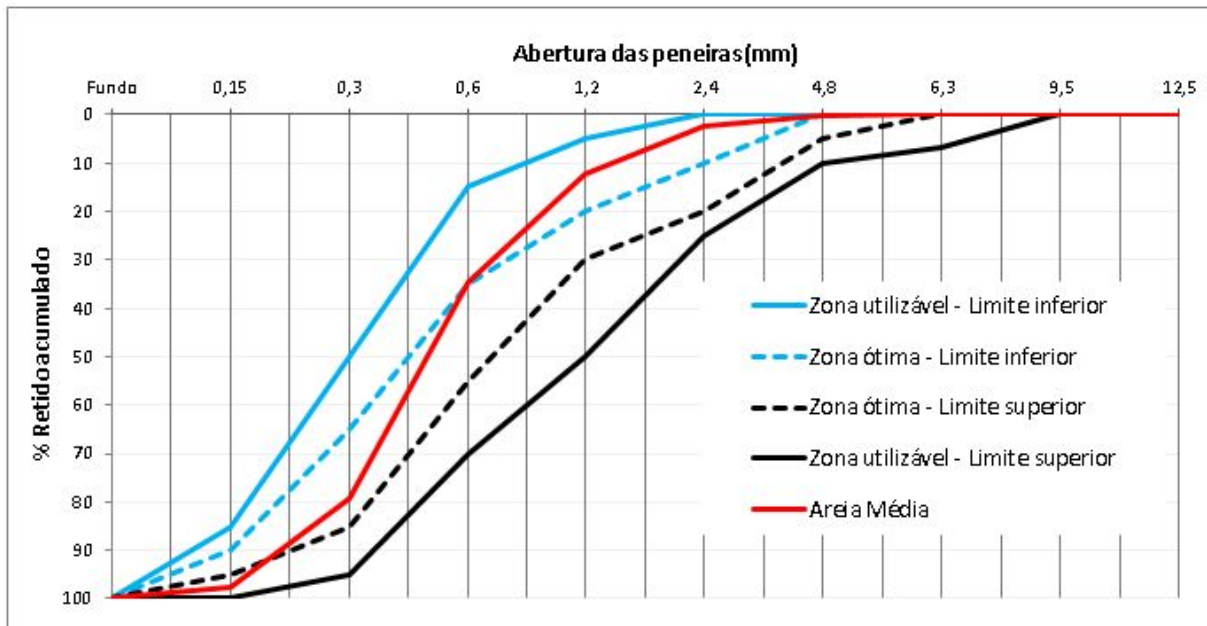
Fonte: Do autor (2020).

Tabela 3 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

| Peneira com abertura de malha | Porcentagem, em massa, retida acumulada | | | |
|-------------------------------|---|------------|--------------------|-----------------|
| | Limites inferiores | | Limites superiores | |
| | Zona utilizável | Zona ótima | Zona ótima | Zona utilizável |
| 9,5 mm | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6,3 mm | 0 | 0 | 0 | 7 |
| 4,75 mm | 0 | 0 | 5 | 10 |
| 2,36 mm | 0 | 10 | 20 | 25 |
| 1,18 mm | 5 | 20 | 30 | 50 |
| 0,6 mm | 15 | 35 | 55 | 70 |
| 0,3 mm | 50 | 65 | 85 | 95 |
| 0,15 mm | 85 | 90 | 95 | 100 |

Fonte: ABNT NBR 7211 (2009, p. 5).

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia



Fonte: Do autor (2020).

3.2.2.2 Determinação da massa unitária e massa específica da areia

O ensaio de massa unitária foi realizado conforme o especificado em norma pela NBR NM 45 (ABNT, 2006), onde para este foi obtida uma amostra de aproximadamente 24 quilos de areia exposta ao ambiente. Foram utilizados um recipiente quadrado, com 31 cm de largura e 15 cm de altura, seguindo em conformidade com a NBR NM 45 (ABNT, 2006), uma haste de adensamento e balança.

Segundo o especificado pela norma NBR NM 45 (ABNT, 2006), a amostra de areia foi previamente secada em estufa a $105(\pm 5)^{\circ}\text{C}$, e posteriormente foi despejada no recipiente até uma altura máxima de 50 mm da borda (FIGURA 14), este com sua massa pré registrada. Após encher o recipiente de agregado a camada final foi nivelada e levada para medição da massa do conjunto recipiente + agregado. A resultante do valor de massa unitária foi obtida através da Equação 1.

$$\rho_{ap} = \frac{(m_{ar} - m_r)}{V} \quad (1)$$

Onde:

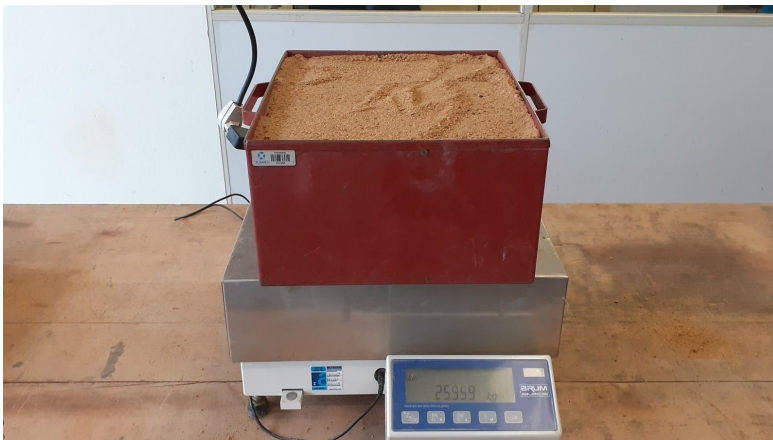
$\rho_{\alpha P}$ = massa unitária do agregado (Kg/m³);

m_{ar} = massa do conjunto recipiente + agregado (Kg);

m_r = massa do recipiente vazio (Kg);

V = volume do recipiente (m³)

Figura 14 - Conjunto areia mais recipiente



Fonte: Do autor (2020).

Para o ensaio de massa específica foram seguidas as conformidades da NBR NM 52 (ABNT, 2009), onde a massa específica é definida pela relação entre a massa do agregado seco pelo seu volume, com a exclusão dos poros permeáveis.

Inicialmente foi obtida uma amostra de 1 kg de areia para realização do ensaio, e foram utilizados balança, frasco de vidro, molde tronco-cônico, haste de compactação, estufa e bandejas metálicas.

Seguindo as conformidades da norma, primeiramente a amostra precisa estar em condição de saturada. Esta amostra foi colocada em um recipiente com água, de modo que a água cobrisse totalmente a amostra e foi deixada em repouso pelo período de 24 horas. Passado esse período a amostra foi retirada da água e estendida sobre uma superfície plana em um local fresco, submetida a ação de corrente de ar, até obter um material com secagem uniforme, onde os grãos de agregado não ficassem fortemente aderidos entre si.

Após secado, o material foi colocado no molde, sem comprimi-lo, e foram aplicados 25 golpes com a haste de socamento, e posteriormente foi levantado verticalmente (FIGURA 15). Como havia umidade superficial, ou seja, o agregado conservava a forma do molde, a secagem do material foi prosseguida, revolvendo a amostra e fazendo ensaios em intervalos de tempo, até que o cone de agregado miúdo desmoronasse ao retirar o molde, chegando à condição mostrada na Figura 16, de saturado com superfície seca.

Figura 15 - Verificação da areia em estado saturado



Fonte: Do autor (2020).

Figura 16 - Areia em situação saturada com superfície seca

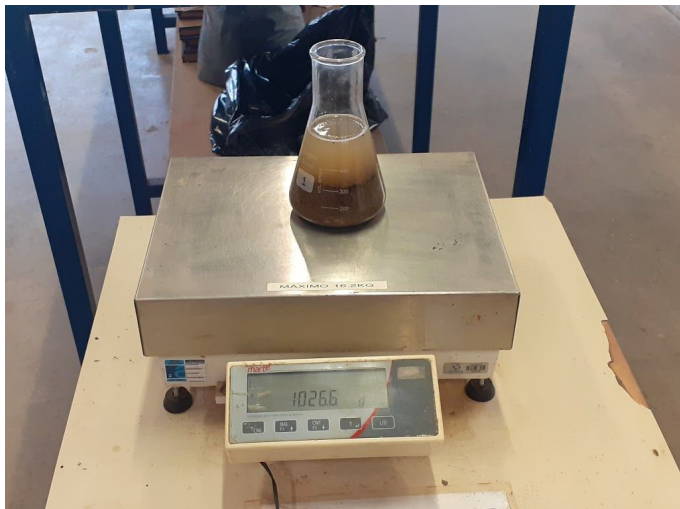


Fonte: Do autor (2020).

Dessa massa de areia foi retirada uma amostra de ± 500 g e colocada no frasco (FIGURA 17) especificado pela NBR NM 52 (ABNT, 2009). A massa do conjunto frasco + amostra foi medida, e posteriormente o frasco foi preenchido com

água até chegar a marca de 500 ml. O conjunto frasco + amostra + água foi movimentado e deixado em descanso pelo período de 1 hora, a fim de eliminar possíveis bolhas e ao passar desse período foi conferido se o nível da água não havia diminuído. Com a ajuda de um recipiente com água o nível foi completado até a marcação de 500 ml.

Figura 17 - Conjunto frasco + amostra de areia



Fonte: Do autor (2020).

Posteriormente da anotação da massa do conjunto a amostra foi retirada do frasco e levada para a estufa, onde foi deixada para secar pelo período de 24 horas a uma temperatura de $105(\pm 5)^{\circ}\text{C}$. Após passado esse período a amostra foi retirada e então medida sua massa seca. Com todas as etapas completadas, foi realizado o cálculo de massa específica através da Equação 2.

$$\gamma = \frac{m}{(V - \frac{(m_2 - m_1)}{\rho_w}) - \frac{m_s - m}{\rho_s}} \quad (2)$$

Onde:

γ = massa específica do agregado (g/cm^3);

m = massa da amostra seca (g/cm^3);

m_1 = massa do conjunto frasco + amostra (g);

m_2 = massa do conjunto frasco + amostra + água (g);

m_s = massa da amostra na condição de saturada com superfície seca (g);

V = volume do frasco (cm^3)

ρ_a = massa específica da água (g/cm^3);

Os resultados de massa unitária e massa específica encontrados com a realização dos ensaios para a areia são respectivamente $1,53 \text{ g/cm}^3$ e $2,48 \text{ g/cm}^3$.

3.2.3 Pó de brita

Para este trabalho foi utilizado pó de brita, que tem por finalidade substituir parcialmente a areia. Segundo Fernandes (2012) este material apresenta três características necessárias para a mistura, como finos para a coesão, grãos médios para a argamassa e grãos para a resistência da peça. Este material tem origem basáltica e foi fornecido pela empresa Strada Concretos. Foram realizados os ensaios de determinação granulométrica, de massa específica e massa unitária.

3.2.3.1 Determinação da granulometria do pó de brita

A granulometria do pó de brita foi determinada através do ensaio com peneiras de abertura de série normal, detalhadas pela NBR 248 (ABNT, 2003). Para realização dos ensaios foram utilizados duas amostras de aproximadamente 1 kg de pó de brita, secas em estufa a $105(\pm 5)^\circ\text{C}$. Foram utilizados bandejas, balança, escova de aço, pincel de nylon, agitador mecânico, fundo avulso de peneiras e um conjunto de peneiras com abertura de 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 600 μm , 300 μm e 150 μm , que atendem às exigências da norma NM-ISO 3310-1 (ABNT, 2010).

Inicialmente foram coletadas duas amostras das baias de pó de brita, seguindo conforme instruções da NM 26 (ABNT, 2009) onde são coletadas pequenas amostras em pontos distintos da área para assegurar a máxima caracterização do material. Essas amostras foram secadas e resfriadas à

temperatura ambiente, e as suas massas foram diferenciadas em m1 e m2 para prosseguimento dos ensaios. Após a secagem das amostras, estas foram postas nas peneiras, previamente encaixadas em ordem decrescente do topo até o fundo da base.

O conjunto de peneiras foi levado ao agitador mecânico e agitado por um tempo estipulado de 10 minutos. Após encerrado o tempo foram retiradas e medidas as massas de material retidas em cada peneira.

A porcentagem de material retida em cada peneira, bem como a massa de cada amostra estão descritas na Tabela 4. A partir da Tabela 4 e da Tabela 5 descritas pela NBR 7211 (ABNT, 2009) foi elaborado o Gráfico 2, onde os limites encontrados pelo ensaio são colocados em comparação com os parâmetros de zonas utilizáveis da norma. Foi constatado que o pó de brita utilizado ficou dentro dos limites aceitáveis.

Tabela 4 - Distribuição granulométrica do pó de brita

| Peneiras mm | Amostra m1 | | Amostra m2 | | Retida Média (%) | Retida Acumulada (%) |
|--------------------------|-----------------|------------|-------------------------|------------|---------------------|-------------------------|
| | Peso Retido (g) | Retida (%) | Peso Retido (g) | Retida (%) | | |
| 9,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 6,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4,8 | 29,4 | 2,79 | 21,9 | 2,16 | 2,47 | 2,47 |
| 2,4 | 283,2 | 26,84 | 265,9 | 26,25 | 26,55 | 29,02 |
| 1,2 | 223,4 | 21,18 | 216,2 | 21,34 | 21,26 | 50,28 |
| 0,6 | 128,9 | 12,22 | 123,8 | 12,22 | 12,22 | 62,50 |
| 0,3 | 82,0 | 7,77 | 81,5 | 8,05 | 7,91 | 70,41 |
| 0,15 | 77,2 | 7,32 | 74,8 | 7,38 | 7,35 | 77,76 |
| Fundo | 230,9 | 21,89 | 228,9 | 22,60 | 22,24 | 100 |
| Total | 1055,0 | 100 | 1013 | 100 | 100 | 292,44 |
| Diâmetro Máximo = | | 4,8 | Módulo de Finura | | 2,92 | |

Fonte: Do autor (2020).

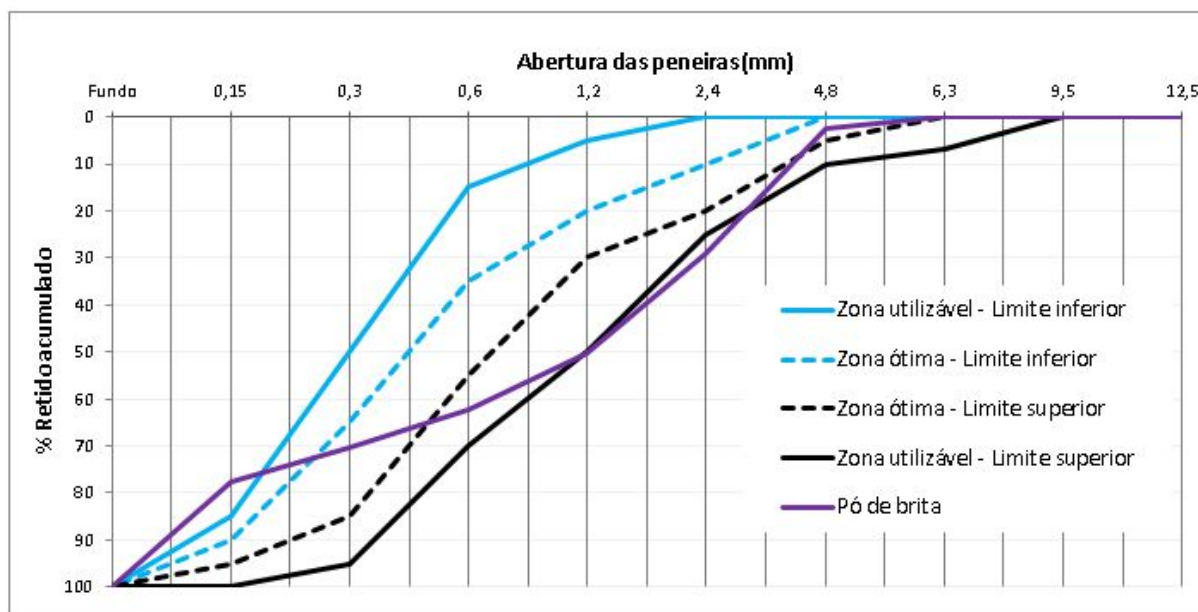
Tabela 5 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

| Peneira com abertura de malha | Porcentagem, em massa, retida acumulada | | | |
|-------------------------------|---|------------|--------------------|-----------------|
| | Limites inferiores | | Limites superiores | |
| | Zona utilizável | Zona ótima | Zona ótima | Zona utilizável |
| 9,5 mm | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6,3 mm | 0 | 0 | 0 | 7 |
| 4,75 mm | 0 | 0 | 5 | 10 |
| 2,36 mm | 0 | 10 | 20 | 25 |
| 1,18 mm | 5 | 20 | 30 | 50 |

| | | | | |
|---------|----|----|----|-----|
| 0,6 mm | 15 | 35 | 55 | 70 |
| 0,3 mm | 50 | 65 | 85 | 95 |
| 0,15 mm | 85 | 90 | 95 | 100 |

Fonte: ABNT NBR 7211 (2009, p. 5).

Gráfico 2 - Curva granulométrica do pó de brita



Fonte: Do autor (2020).

3.2.3.2 Determinação da massa unitaria e massa específica do pó de brita

O ensaio para determinação da massa unitária do pó de brita foi realizado de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006). Foi coletada uma amostra de aproximadamente 24 quilos de pó e utilizados equipamentos como, um recipiente quadrado com 31cm de largura e 15 cm de altura, seguindo em conformidade com a NBR NM 45 (ABNT, 2006), haste para adensamento e balança digital.

Segundo o especificado pela norma NBR NM 45 (ABNT, 2006), a amostra de pó de brita foi previamente secada em estufa a $105(\pm 5)^{\circ}\text{C}$, e posteriormente foi despejada no recipiente até uma altura máxima de 50 mm da borda (FIGURA 18), este com sua massa pré registrada. Após encher o recipiente de agregado a

camada final foi nivelada e levada para medição da massa do conjunto recipiente + agregado. A resultante do valor de massa unitária é obtido através da Equação 3.

$$\rho_{ap} = \frac{(mar - mr)}{V} \quad (3)$$

Onde:

ρ_{ap} = massa unitária do agregado (Kg/m³);

mar = massa do conjunto recipiente + agregado (Kg);

mr = massa do recipiente vazio (Kg);

V = volume do recipiente (m³)

Figura 18 - Conjunto pó de brita mais recipiente



Fonte: Do autor (2020).

Para o ensaio de massa específica foi seguido conforme a NBR NM 52 (ABNT, 2009), onde a massa específica é definida pela relação entre a massa do agregado seco pelo seu volume, com a exclusão dos poros permeáveis.

Foi obtida uma amostra de 1 kg de pó de brita para realização do ensaio, e foram utilizados balança, frasco de vidro, molde tronco-cônico, haste de compactação, estufa e bandejas metálicas.

Seguindo as conformidades da norma, primeiramente a amostra precisa estar em condição de saturada. Para isto, a mesma foi colocada em um recipiente com água, de modo que a água cobrisse toda a amostra e foi deixada em repouso pelo período de 24 horas. Passado esse período a amostra foi retirada da água e estendida sobre uma superfície plana em um local fresco, submetida a ação de corrente de ar, até obter um material com secagem uniforme, onde os grãos de agregado não ficassem fortemente aderidos entre si.

Após secado, o material foi colocado no molde, sem comprimi-lo, e foram aplicados 25 golpes com a haste de socamento, e posteriormente foi levantado verticalmente. Como havia umidade superficial, ou seja, o agregado conservava a forma do molde, a secagem do material foi prosseguida, revolvendo a amostra e fazendo ensaios em intervalos de tempo, até que o cone de agregado miúdo desmoronasse ao retirar o molde, chegando à condição de saturado com superfície seca (FIGURA 19).

Figura 19 - Pó de brita em condição saturado com superfície seca



Fonte: Do autor (2020).

Dessa massa de pó de brita foi retirada uma amostra de $\pm 500\text{g}$ e colocada no frasco (FIGURA 20) especificado na NBR NM 52 (ABNT, 2009). A massa do conjunto frasco + amostra foi medida, e posteriormente o frasco foi preenchido com água até chegar a marca de 500 ml. O conjunto frasco + amostra + água foi movimentado e deixado em descanso pelo período de 1 hora, a fim de eliminar

possíveis bolhas e ao passar desse período foi conferido se o nível da água não havia diminuído. Com a ajuda de um recipiente com água, o limite foi completado até a marcação de 500 ml.

Figura 20 - Conjunto frasco + amostra pó de brita



Fonte: Do autor (2020).

Posteriormente da anotação da massa do conjunto a amostra foi retirada do frasco e levada para a estufa, onde foi deixada para secar pelo período de 24 horas a uma temperatura de $105(\pm 5)^{\circ}$. Após passado esse período a amostra foi retirada e medida a massa da amostra seca. Com todas as etapas completadas, foi realizado o cálculo de massa específica através da Equação 4.

$$\gamma = \frac{m}{(V - \frac{(m_2 - m_1)}{\gamma_s}) - \frac{m_s - m}{\gamma_s}} \quad (4)$$

Onde:

γ = massa específica do agregado (g/cm^3);

m = massa da amostra seca (g/cm^3);

m_1 = massa do conjunto frasco + amostra (g);

m_2 = massa do conjunto frasco + amostra + água (g);

m_s = massa da amostra na condição de saturada com superfície seca (g);

V = volume do frasco (cm^3)

ρ_a = massa específica da água (g/cm³);

Os resultados de massa unitária e massa específica encontrados com a realização dos ensaios para o pó de brita são respectivamente 1,42 g/cm³ e 2,85 g/cm³.

3.2.4 Brita

A brita que foi utilizada é classificada como brita 0 segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005). Esta brita é proveniente da região do Vale do Taquari, e foi fornecida pela empresa Strada Concretos, com sede na cidade de Teutônia. Sua granulometria varia com as dimensões de 9,5 até 0,15 mm. Foram realizados ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária.

3.2.4.1 Determinação da granulometria da brita

A granulometria da brita segue os parâmetros da NBR 248 (ABNT, 2003), que utiliza as peneiras que se encaixam na série normal. O ensaio foi realizado com a utilização de duas amostras de brita 0 secas em temperatura ambiente. Para este ensaio foram utilizados bandejas, balança, escova de aço, pincel de nylon, agitador mecânico, fundo avulso de peneiras e uma conjunto de peneiras com abertura de 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 600 µm, 300 µm e 150 µm, que atendem às exigências da norma NM-ISO 3310-1 (ABNT, 2010).

Inicialmente foram coletadas duas amostras das baías de brita, seguindo conforme instruções da NM 26 (ABNT, 2009) onde são coletadas pequenas amostras em pontos distintos da área para assegurar a máxima caracterização do material. Essas amostras foram secadas e resfriadas à temperatura ambiente, sendo

diferenciadas em m1 e m2. Após a secagem, estas foram postas nas peneiras, previamente encaixadas em ordem decrescente do topo até o fundo da base.

O conjunto de peneiras foi levado ao agitador mecânico e agitado por um tempo estipulado de 10 minutos. Após encerrado o tempo foram retirados e medidas as massas de material retidas em cada peneira.

A porcentagem de material retida em cada peneira, bem como a massa de cada amostra estão descritas na Tabela 6. A partir da Tabela 6 e da Tabela 7 descritas pela NBR 7211 (ABNT, 2009) foi elaborado o Gráfico 3, onde os limites encontrados pelo ensaio foram colocados em comparação com os parâmetros de zonas utilizáveis da norma. Foi constatado que a brita utilizada ficou dentro dos limites aceitáveis.

Tabela 6 - Distribuição granulométrica da brita

| Peneiras | Amostra m1 | | Amostra m2 | | Retida Média (%) | Retida Acumulada (%) |
|--------------------------|-----------------|-------------|-------------------------|------------|------------------|----------------------|
| mm | Peso Retido (g) | Retida (%) | Peso Retido (g) | Retida (%) | | |
| 9,5 | 175,1 | 17,42 | 125,0 | 11,91 | 14,66 | 14,66 |
| 6,3 | 468,4 | 46,59 | 487,6 | 46,47 | 46,53 | 61,19 |
| 4,8 | 261,8 | 26,04 | 307,6 | 29,31 | 27,68 | 88,87 |
| 2,4 | 73,1 | 7,26 | 104,9 | 10,00 | 8,63 | 97,50 |
| 1,2 | 5,1 | 0,51 | 7,3 | 0,70 | 0,60 | 98,10 |
| 0,6 | 2,1 | 0,21 | 2,5 | 0,24 | 0,22 | 98,32 |
| 0,3 | 1,8 | 0,18 | 1,6 | 0,15 | 0,17 | 98,49 |
| 0,15 | 2,3 | 0,23 | 2,1 | 0,20 | 0,21 | 98,70 |
| Fundo | 15,8 | 1,57 | 10,7 | 1,02 | 1,30 | 100 |
| Total | 1005,4 | 100 | 1049,3 | 100 | 100 | 594,65 |
| Diâmetro Máximo = | | 12,5 | Módulo de Finura | | 5,95 | |

Fonte: Do autor (2020).

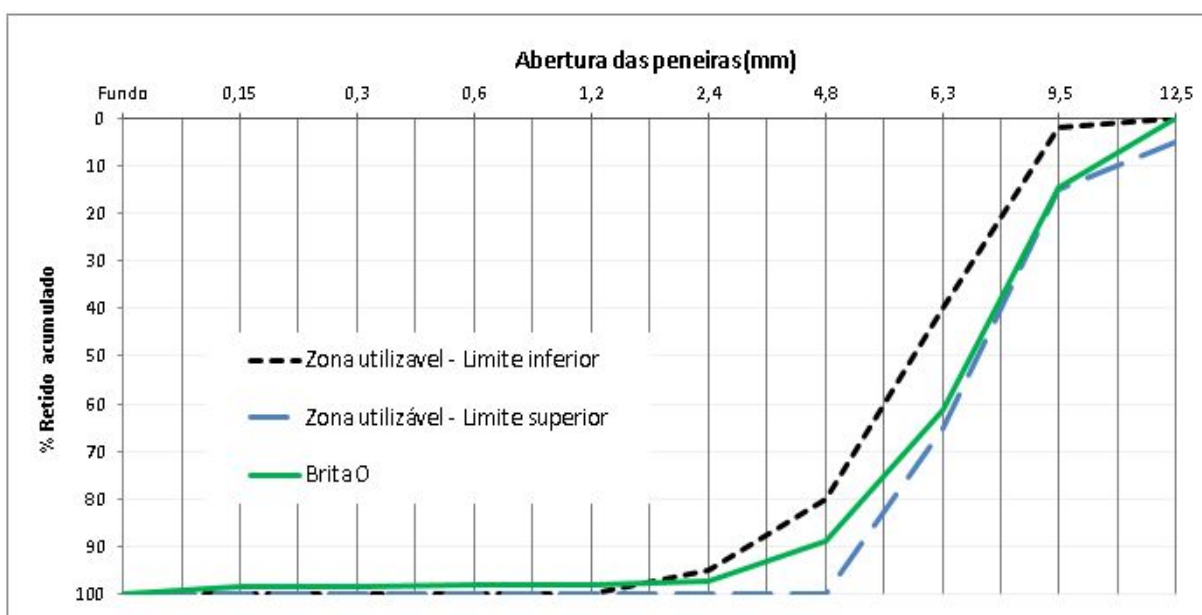
Tabela 7 - Limites da composição granulométrica do agregado graúdo

| Peneira com abertura de malha | Porcentagem, em massa, retida acumulada | | | | |
|-------------------------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Zona granulométrica | | | | |
| | 4,75/12,5 | 9,5/25 | 19/31,5 | 25/50 | 37,5/75 |
| | Brita 0 | Brita 1 | Brita 2 | Brita 3 | Brita 4 |
| 75 mm | - | - | - | - | 0 - 5 |
| 63 mm | - | - | - | - | 5 - 30 |
| 50 mm | - | - | - | 0 - 5 | 75 - 100 |
| 37,5 mm | - | - | - | 5 - 30 | 90 - 100 |

| | | | | | |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 31,5 mm | - | - | 0 - 5 | 75 - 100 | 95 - 100 |
| 25 mm | - | 0 - 5 | 5 - 25 | 87 - 100 | - |
| 19 mm | - | 2 - 15 | 65 - 95 | 95 - 100 | - |
| 12,5 mm | 0 - 5 | 40 - 65 | 92 - 100 | - | - |
| 9,5 mm | 2 - 15 | 80 - 100 | 95 - 100 | - | - |
| 6,3 mm | 40 - 65 | 92 - 100 | - | - | - |
| 4,75 mm | 80 - 100 | 95 - 100 | - | - | - |
| 2,36 mm | 95 - 100 | - | - | - | - |

Fonte: ABNT NBR 7211 (2009, p. 5).

Gráfico 3 - Curva granulométrica da brita



Fonte: Do autor (2020).

3.2.4.2 Determinação da massa unitária e massa específica da brita

O ensaio para determinação da massa unitária da brita foi realizado de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006), onde foi coletada uma amostra de 24 quilos de brita e utilizados equipamentos como, um recipiente quadrado com 31 cm de largura e 15 cm de altura, haste para adensamento e balança digital.

Segundo o especificado pela norma NBR NM 45 (ABNT, 2006), a amostra de brita foi previamente secada em estufa a $105(\pm 5)^{\circ}\text{C}$, e posteriormente foi despejada no recipiente até uma altura máxima de 50 mm da borda, este com sua massa pré registrada (FIGURA 21). Após encher o recipiente de agregado a camada final foi

nivelada e levada para medição da massa do conjunto recipiente + agregado. A resultante do valor de massa unitária foi obtida através da Equação 5.

$$\rho_{ap} = \frac{(mar - mr)}{V} \quad (5)$$

Onde:

ρ_{ap} = massa unitária do agregado (Kg/m³);

mar = massa do conjunto recipiente + agregado (Kg);

mr = massa do recipiente vazio (Kg);

V = volume do recipiente (m³)

Figura 21 - Conjunto brita mais recipiente



Fonte: Do autor (2020).

A massa específica foi encontrada através do ensaio prescrito pela NBR NM 53 (ABNT, 2009), que determina como sendo agregado graúdo aquele que através do ensaio de granulometria apresenta sua maior porcentagem retida na peneira 4,75 mm. A massa específica foi definida pela relação entre a massa do agregado seco pelo seu volume, com a exclusão dos poros permeáveis.

Inicialmente foi obtida uma amostra de 3 kg para realização do ensaio, e foram utilizados balança, cesto de arame, tanque de água e bandejas.

Seguindo as conformidades da norma, primeiramente a amostra foi colocada em um recipiente e coberta por uma camada de água, sendo deixada em repouso pelo período de 24 horas. Posteriormente a amostra foi retirada e enxugada com um pano até eliminar a água superficial (FIGURA 22).

Figura 22 - Massa do agregado saturado com superfície seca



Fonte: Do autor (2020).

Após secado, o material foi pesado em condições de saturado com superfície seca e em seguida foi despejado no cesto de arame. O conjunto, cesto de arame + amostra, foi submergido em água e foi medida a massa da amostra em água (FIGURA 23).

Figura 23 - Conjunto cesto de arame + agregado submerso



Fonte: Do autor (2020).

Após realizar esta etapa a amostra foi levada para a estufa e deixada por um período de 24 horas. Com a amostra seca sua massa foi medida e anotada. Com todas as etapas do ensaio completadas a massa específica foi obtida através da Equação 6.

$$\gamma = \frac{m}{(V - \frac{(m_2 - m_1)}{\rho_a}) - \frac{m_s - m}{\rho_a}} \quad (6)$$

Onde:

γ = massa específica do agregado (g/cm³);

m = massa da amostra seca (g/cm³);

m_1 = massa do conjunto frasco + amostra (g);

m_2 = massa do conjunto frasco + amostra + água (g);

m_s = massa da amostra na condição de saturada com superfície seca (g);

V = volume do frasco (cm³)

ρ_a = massa específica da água (g/cm³);

Os resultados de massa unitária e massa específica encontrados com a realização dos ensaios para a brita são respectivamente 1,56 g/cm³ e 2,96 g/cm³.

3.2.5 Água de amassamento

A água que foi utilizada é proveniente da rede de abastecimento de água do Município de Teutônia, subsidiado pela empresa CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento). Esta água é potável e segue conforme os requisitos mínimos exigidos pela NBR 15900-1 (ABNT, 2009). A quantidade de água exigida no processo de produção é relativamente baixo, equivalente a aproximadamente 6% da massa total de aglomerantes.

3.2.6 Aditivo superplastificante

O aditivo utilizado foi o Liquiplast 1400 da marca Tecnomor. Este aditivo é aplicado de forma líquida, e sua dosagem é recomendada de 30 a 70 ml por 50kg de cimento. Segundo o fabricante, este aditivo acelera o tempo de cura, melhora a textura das peças, reduz a absorção de água, e diminui a relação água/cimento. Juntamente com a utilização de cimento da classe CP-V ARI, este aditivo acelera o tempo de pega e principalmente mantém o bloco consistente e de fácil manuseio logo após sua retirada da máquina. Depois de fabricados, estes blocos precisam ser empilhados em paletes e dispostos nos locais das câmaras de cura.

3.2.7 Cinza de Casca de Arroz

A Cinza de Casca de Arroz (CCA) que foi empregada na composição do traço do concreto, foi fornecida pela Empresa FIDA (Caçapava do Sul-RS), com fábricas em Caçapava do Sul-RS e Pantano Grande-RS. O contato com a empresa foi

realizado através do Latec, e após foi cedido para realização desta pesquisa. Inicialmente buscou-se averiguar se esta CCA foi produzida adequadamente, do qual a casca de arroz precisou passar por uma queima controlada a uma temperatura estipulada de aproximadamente 500°C, gerando uma CCA de boa qualidade.

A realização da caracterização desta cinza não foi necessária por ser um material comercial. Seus valores estão descritos nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 - Composição química da Cinza de Casca de Arroz

| Composto | Quantidade (%) |
|--------------------------------|----------------|
| SiO ₂ | 90,67 |
| K ₂ O | 2,17 |
| CaO | 1,12 |
| P ₂ O ₅ | 0,58 |
| SO ₃ | 0,28 |
| Cl | 0,22 |
| MnO | 0,19 |
| MgO | 0,18 |
| Al ₂ O ₃ | 0,14 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,11 |
| Rb ₂ O | 0,01 |
| Perda ao Fogo | 4,32 |

Fonte: Pilecco (2018).

Tabela 9 - Propriedades da Cinza de Casca de Arroz

| Propriedades Físico Química | |
|---|--------------|
| Perda ao fogo (%) | < 5 |
| Umidade (%) | < 3 |
| pH | entre 8 e 10 |
| Massa específica (g/cm ³) | 2,16 |
| Resíduo em peneira #325(%) | < 5 |
| Teor de SiO ₂ (%) | > 90 |
| Ensaio CTAB (m ² /g) | 10 à 12 |
| Superfície específica BET (m ² /g) | 15 à 20 |

Fonte: Pilecco (2018).

A CCA cedida pelo LATEC pode ser vista na Figura 24. Esta CCA apresenta uma coloração escura, possivelmente influenciada pela presença de grande quantidade de carbono e baixa quantidade de material orgânico.

Figura 24 - CCA usada para a produção dos blocos



Fonte: Do autor (2020).

3.3 Dosagem do concreto

A produção do pavimento ocorreu com a utilização de um traço determinado como referência, de proporções 1: 2,41: 1,89: 1,20 (cimento: areia: pó de brita: brita). Este traço é normalmente utilizado na produção da empresa parceira desta pesquisa, atingindo resistência acima de 35 MPa, média mínima exigida pela NBR 9781 (ABNT, 2013), para ser aplicado em locais com tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais. As porcentagens de cimento que foram substituídas para a realização dos testes estão descritas na Tabela 10, bem como os valores parciais de cada um dos traços.

Tabela 10 - Traço unitário determinado

| Traço | Cimento | Areia | Pó de brita | Brita | CCA | Água |
|--------------------|---------|-------|-------------|-------|-----|------|
| Referência | 1 | 2,41 | 1,89 | 1,20 | - | 0,6 |
| Cimento 95% CCA 5% | 0,95 | 2,41 | 1,89 | 1,20 | 0,5 | 0,6 |

| | | | | | | |
|----------------------------|------|------|------|------|------|-----|
| Cimento 90% CCA 10% | 0,90 | 2,41 | 1,89 | 1,20 | 0,10 | 0,6 |
| Cimento 85% CCA 15% | 0,85 | 2,41 | 1,89 | 1,20 | 0,15 | 0,6 |

Fonte: Do autor (2020).

Com a determinação do traço utilizado foram calculadas as quantidades necessárias de material. Visto que a fabricação seria dada através de maquinário industrial, foi preciso utilizar uma quantidade mínima de material para que a máquina (misturador e chapa prensa) trabalhasse normalmente, não alterando nenhuma configuração ou calibração dos equipamentos. A relação de materiais está descrita na Tabela 11.

Tabela 11 - Traço quantificado em massa

| Traço | Valores em massa (Kg) | | | | | |
|----------------------------|------------------------------|--------------|--------------------|--------------|------------|-------------|
| | Cimento | Areia | Pó de brita | Brita | CCA | Água |
| Referência | 54 | 130 | 102 | 65 | - | 32,4 |
| Cimento 95% CCA 5% | 51,3 | 130 | 102 | 65 | 2,7 | 32,4 |
| Cimento 90% CCA 10% | 48,6 | 130 | 102 | 65 | 5,4 | 32,4 |
| Cimento 85% CCA 15% | 45,9 | 130 | 102 | 65 | 8,1 | 32,4 |

Fonte: Do autor (2020).

Com cada traço foi possível prensar 4 chapas de PVC, onde em cada chapa são moldados 16 peças de blocos de concretos (FIGURA 25), resultando em um total de 64 corpos de prova, necessitando apenas de 18 amostras para ensaio de resistência à compressão, 3 para absorção e 3 para realizar ensaio de abrasão. A produção resultou em uma margem de 32 amostras para suprir eventuais perdas. Com essa grande quantidade de amostras, foi determinado que aquelas resultantes da primeira prensada de cada traço seriam descartadas para realizar ensaios, pois mesmo com a limpeza da máquina sendo realizada a cada troca de traço, ainda poderiam restar materiais dos traços anteriores, fazendo com que essa medida de excluir a primeira prensada impedisse eventuais erros de dosagem dos traços. E também foram descartadas algumas outras amostras que saíram com baixa qualidade de produção.

Figura 25 - Forma para fabricação dos blocos de concreto



Fonte: Do autor (2020).

3.4 Procedimento de moldagem

O processo de produção se difere da fabricação normal de concreto para a construção civil. Na fabricação, os pavimentos de concreto são vibrados e prensados hidraulicamente. Inicialmente, os materiais para a produção são despejados nas respectivas “conchas” de insumos (FIGURA 26). A quantidade necessária para a produção de uma “massada” é liberada pelo mecanismo ligado a uma balança eletrônica. Os materiais são elevados até serem despejados na abertura do misturador (FIGURA 27) e nesta etapa são adicionados água e cimento de maneira automatizada. Também nesta etapa foram adicionados as quantidades de massa de CCA previamente pesadas para cada traço, despejadas de maneira manual.

Figura 26 - Conchas de insumos



Fonte: Do autor (2019).

O concreto ainda em estado fresco é despejado na esteira, mostrada também na Figura 27, e este é elevado até ser posicionado na prensa vibratória. A mistura é liberada pela máquina até preencher todo o molde da chapa de prensar (FIGURA 28). Conforme configuração pré estabelecida, após a forma estar preenchida a prensa é baixada fazendo a compactação do concreto e em seguida os blocos são desinformados em uma chapa de PVC.

Figura 27 - Esteira de despejo do concreto fresco



Fonte: Do autor (2019).

Figura 28 - Molde dos blocos de concreto



Fonte: Do autor (2019).

Depois do processo de produção os blocos são retirados da esteira e empilhados uns sobre os outros em estruturas de paletes, apoiados de maneira que haja um espaçamento entre as chapas de PVC. Após são levados para cabine de cura e deixados pelo período de 24 horas (FIGURA 29).

Figura 29 - Blocos na câmara de cura



Fonte: Do autor (2019).

Todo o processo de produção é ajustado e controlado automaticamente (FIGURA 30) por uma pessoa responsável. Na mesa de controle são editados os

campos de agregados, água e aditivo, onde o volume de material é ajustado conforme o artefato que está sendo produzido e o traço determinado.

Figura 30 - Mesa de controle da produção



Fonte: Do autor (2019).

3.5 Ensaios

3.5.1 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado conforme prescrito pela NBR 9781 (ABNT, 2013), nas idades 7, 14 e 28 dias, onde para cada idade foi registrada a resistência à compressão de 6 corpos de prova para cada traço seguindo a norma. A realização do ensaio se deu na empresa Strada Concretos, com a utilização de uma prensa hidráulica que tem capacidade para 1000 kN, modelo Pavitest da marca Contenco Indústria e Comércio Ltda, que pode ser observada na Figura 31.

Figura 31 - Prensa Hidraulica



Fonte: Do autor (2019).

Primeiramente, as amostras foram recolhidas após ficarem 24 horas na câmara de cura, e dando início ao processo de capeamento (FIGURA 32). Inicialmente, foram retiradas as rebarbas de cada bloco e também algum eventual desnível na superfície superior e inferior, resultando em um bloco o máximo possível liso e sem rebarbas. Cada amostra foi identificada conforme data de produção, espécie de bloco, teor de CCA e numeração conforme o traço. Para preenchimento das tabelas foram retiradas as medidas de altura, largura, comprimento e massa de cada amostra com a utilização de paquímetro digital e balança.

Após todas as amostras terem sido identificadas, foram separadas conforme idade de realização do ensaio (FIGURA 33), e em seguida iniciado o processo de capeamento. Para realizar o capeamento e obter amostras com superfícies niveladas e sem imperfeições, é determinado pela NBR 9781 (ABNT, 2013) que ambas as superfícies dos blocos sejam cobertas por uma fina camada de cobrimento. Para este ensaio foi utilizado argamassa, uma mistura bem simples e que não é passível de alterar a resistência das amostras.

Figura 32 - Corpos de prova separados para iniciar os ensaios



Fonte: Do autor (2020).

Figura 33 - Corpos de prova identificados



Fonte: Do autor (2020).

Para cobrir os corpos de prova, inicialmente foi preciso preparar uma superfície plana e com área ampla. Nesta superfície, foram dispostos jornais umidificados com óleo queimado (FIGURA 34), para evitar que a argamassa aderisse com a bancada. Após esta etapa, a argamassa foi despejada sobre a bancada e com a ajuda de uma colher de pedreiro foi espalhada sobre toda a superfície, tentando cobrir toda a área (FIGURA 35).

Figura 34 - Preparação da base para capeamento



Fonte: Do autor (2020).

Figura 35 - Argamassa disposta sobre a bancada



Fonte: Do autor (2020).

Em seguida, as amostras foram colocadas sobre a argamassa, dispostas lado a lado, e niveladas com a ajuda de um nível de construção. No dia seguinte, com a ajuda de espátulas, os corpos de prova foram desmoldados e preparados para realizar novamente o processo de capeamento para o outro lado. Na Figura 36 é possível observar o resultado do processo de capeamento.

Figura 36 - Corpo de prova com capeamento de argamassa



Fonte: Do autor (2020).

Seguindo as determinações da NBR 9781 (ABNT, 2013), para realização do ensaio, os blocos precisam estar saturados. Para isso, as amostras foram submersas por um período de 24 horas em tanque de água (FIGURA 37). Respectivamente as amostras com tempo de cura de 7, 14 e 28 dias, foram postas no tanque 24 horas antes da data de cada ensaio, e após serem retiradas da água foram deixadas para descansar e secar a temperatura ambiente por um período de 1 hora antes de serem rompidas.

Figura 37 - Blocos submersos na caixa d'água



Fonte: Do autor (2020).

Os corpos de prova foram dispostos sobre as placas auxiliares de ensaio, com a face superior em contato com a placa superior. Seguindo as conformidades

da NBR 9781 (ABNT, 2013), a máquina de ensaio à compressão precisou exercer uma carga contínua, com uma velocidade de 550 kPa/s, mantendo uma variação de aproximadamente 200 kPa/s. A aplicação do carregamento prosseguiu até a completa ruptura dos corpos de prova (FIGURA 38).

Figura 38 - Ensaio de resistência



Fonte: Do autor (2020).

3.5.2 Índice de absorção

Para determinação de absorção de água pelo bloco de concreto foram seguidas as conformidades prescritas na NBR 9781 (ABNT, 2013). Este ensaio foi realizado para as amostras com idade de 28 dias, totalizando 3 CPs para cada traço.

Os corpos de prova foram previamente limpos e também foram retiradas as rebarbas. Suas medidas de largura, altura, comprimento e massa foram previamente anotadas. Primeiramente os corpos de prova foram imergidos em água à temperatura de $23(\pm 5)^{\circ}\text{C}$, por um período de 24 horas. Após passado esse tempo, foram retirados da água, deixados para descansar e com a utilização de um pano úmido foi removida a água superficial visível, chegando a um estado desejável de

saturado com superfície seca (FIGURA 39). Por fim, a massa de cada amostra m_2 foi anotada.

Figura 39 - Blocos em estado de saturados com superfície seca



Fonte: Do autor (2020).

Após este procedimento, os corpos de prova saturados foram levados à estufa com temperatura a $110(\pm 5)^{\circ}\text{C}$ e foram mantidos por 24 horas. Logo após serem retirados da estufa os CPs foram pesados individualmente e seus valores de massa foram anotados, encontrando assim as massas secas m_1 . O valor de absorção de água de cada corpo de prova foi calculado através da Equação 8.

$$A = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

A = Absorção de cada corpo de prova (%);

m_2 = massa do corpo de prova seco (g);

m_1 = massa do corpo de prova saturado (g);

3.5.3 Abrasão Los Angeles

Para encontrar a resistência à degradação por abrasão, foi adotado o ensaio utilizado para concreto permeável, descrito pela ASTM C1747 (2013). Este método consistiu em ensaiar as amostras com a utilização de um tambor rotativo de aço, conhecido como máquina de abrasão Los Angeles (FIGURAS 40 e 41).

Figura 40 - Tambor rotativo de bolas



Fonte: Do autor (2020).

Figura 41 - Blocos dentro do tambor rotativo



Fonte: Do autor (2020).

Inicialmente foram recolhidos 3 corpos de prova para cada traço estudado, onde cada amostra passou por um processo de limpeza e suas arestas foram

retiradas. Logo após os blocos serem pesados foram demarcados conforme data de produção, lote e traço. A realização do ensaio ocorreu após a idade de 28 dias.

Para a realização do ensaio não foram utilizadas esferas de aço como material abrasivo. Seguindo as recomendações da norma a máquina foi ajustada para ser rotacionada a uma velocidade de 33 rotações por minuto, até completar 500 rotações. Após cada ensaio, os blocos foram retirados da máquina e suas massas foram anotadas. A perda por abrasão foi determinada a partir dos valores das pesagens iniciais e das pesagens após retirar da máquina. Por fim, foi calculada a perda de massa e expressa a perda em porcentagem.

Figura 42 - Corpos de prova antes e depois do ensaio



Fonte: Do autor (2020).

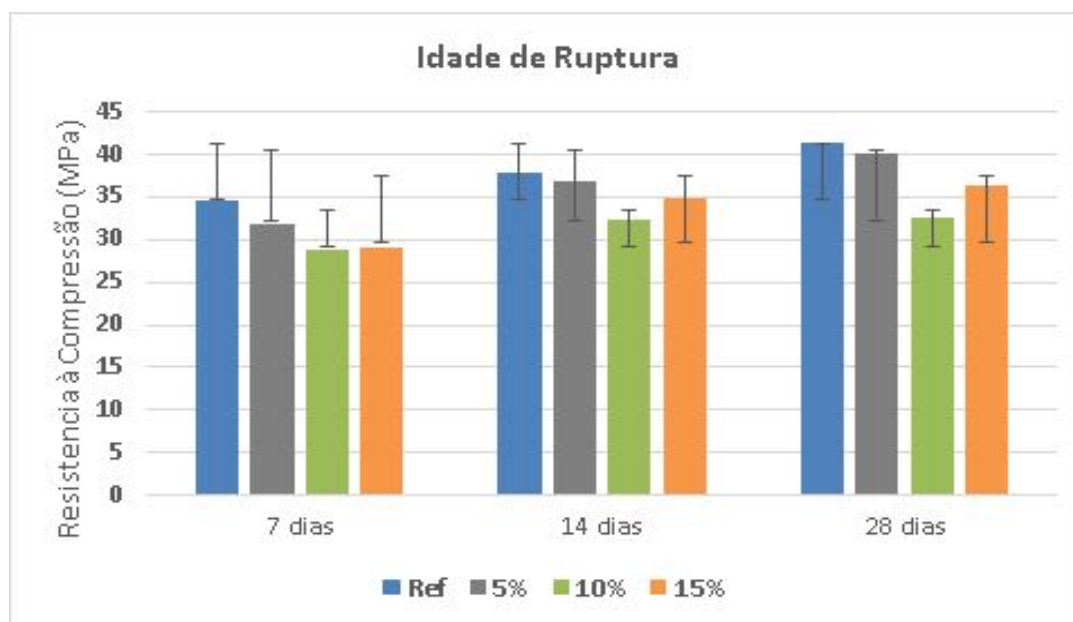
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resistência à compressão axial

A comparação da resistência à compressão de cada traço, através dos ensaios realizados nas idades de 7, 14 e 28 dias estão representadas no Gráfico 4. Através do gráfico é possível observar que na idade de 7 dias o traço tomado como referência apresentou resistência de 34,70 MPa, próxima a resistência mínima exigida pela NBR 9781 (ABNT, 2013). Os corpos de prova com substituição de 5% de cimento apresentaram resistência ligeiramente inferior ao traço referência. Já os traços com 10% e 15% de CCA apresentaram resistência bem abaixo do traço referência. Sabe-se que a CCA em idades iniciais ainda não desenvolveu a atividade pozolânica, por isso é justificável esta resistência mais baixa em relação ao traço de referência.

Para a idade de 14 dias é possível observar que os traços com adição de CCA apresentaram ganhos de resistência, mas estes valores continuam inferiores ao traço de referência, o traço com 15% de CCA teve um crescimento maior que o traço com 10%, chegando próximo dos 35 MPa, mínima exigida pela NBR 9781 (ABNT, 2013). O ganho de resistência se manteve aos 28 dias, tendo o traço referência apresentando maior resistência a compressão seguido pelo traço com 5% de CCA. O traço com 15% apresentou resistência inferior ao traço de referência, mas apresentou ganho de resistência em relação ao traço de 10%, que se manteve abaixo dos demais.

Gráfico 4 - Resistência à Compressão Axial



Fonte: Do autor (2020).

Analisando particularmente cada traço e suas respectivas idades, pode-se observar que cada composição estudada nesta pesquisa apresentou um aumento de resistência ao passar dos 28 dias, sendo que o traço tomado como referência apresentou o valor de maior resistência com 41,32 MPa, seguido pelo traço com 5% de CCA ligeiramente abaixo, com 40,15 MPa. O traço que apresentou o maior aumento médio foi o com 5%, com um aumento de resistência à compressão de 20,60% ou 8,27 MPa, em comparação ao ensaio de 7 dias. O traço com 10% de CCA em substituição do cimento apresentou aos 28 dias um aumento de 11,80%, já o traço com 15% apresentou um valor de aproximadamente 20,22%, em relação aos 7 dias, resultando em valores de resistência à compressão de 32,71 e 36,40 MPa respectivamente.

Ao analisar todas as idades é possível perceber que os dois traços que obtiveram melhores resultados foram os traços com porcentagens de 5 e 15%, apresentando acréscimos de resistência relativamente altos entre os 7 e 28 dias. Conforme Tashima et al. (2011), que encontraram valores de ganhos de resistência aos 28 dias próximos ao desta pesquisa, apresentaram valores de aproximadamente 24%. O traço com porcentagem de 10% apresentou um péssimo desenvolvimento de resistência, com um aumento de apenas 3,86 MPa ou 11%.

Tashima et al. (2011) comenta que a evolução da resistência característica pode estar associada ao comportamento da atividade pozolânica que a CCA está exercendo na mistura, apresentando ganhos de resistência em idades mais avançadas.

Comparando a resistência dos corpos de prova aos 28 dias com os valores da Tabela 12, onde é descrito o mínimo aceitável pela NBR 9781 (ABNT, 2013), verifica-se que os traços com 5 e 15% estão de acordo com a norma, apresentando valores acima do permitido para a empregabilidade de pavimentos em locais com tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais. Já o traço estudado com 10% de CCA apresentou um valor abaixo do estipulado, sendo sua viabilidade para uso não recomendada.

Tabela 12 - Resistência característica à compressão

| Solicitação | Resistência característica à compressão (f_{pk}) aos 28 dias MPa |
|--|--|
| Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha | ≥ 35 |
| Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados | ≥ 50 |

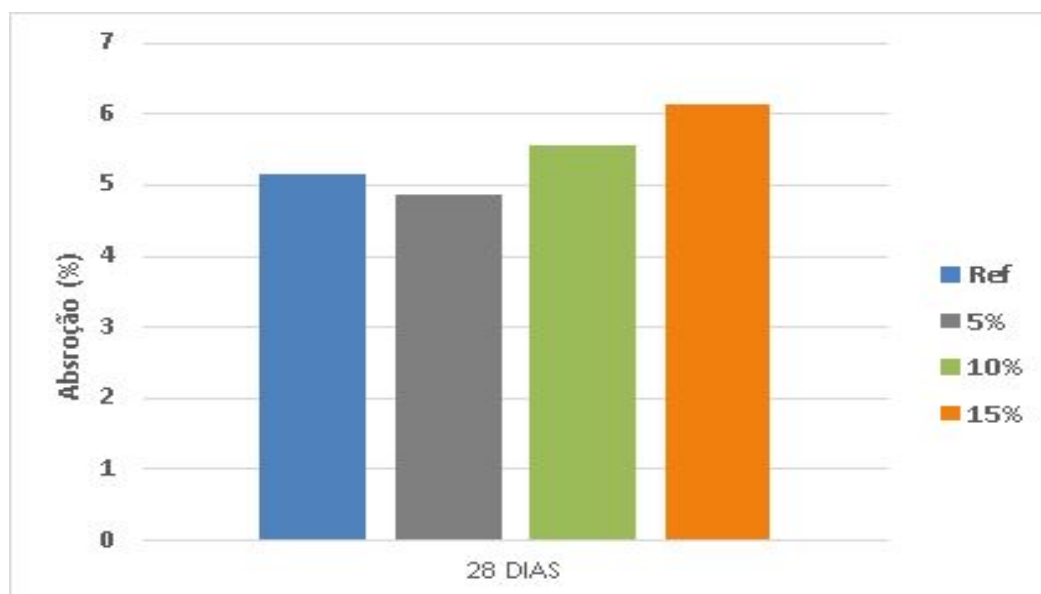
Fonte: ABNT NBR 9781 (2013).

4.2 Índice de absorção dos corpos de prova

Os resultados obtidos no ensaio de absorção estão demonstrados no Gráfico 5, onde pode-se observar que os traços com adição de CCA, exceto o de 5%, apresentaram uma maior absorção de água se comparados ao traço de referência. O traço com 15% de CCA apresentou o maior valor, que em comparação com o traço de referência é 15,9% maior, seguido do traço com 10%, que exibiu absorção de 7,4% superior à referência. O traço com 5% de CCA apresentou absorção de aproximadamente -6,04% em comparação com a referência. Segundo Tashima et

al. (2011), o concreto no estado endurecido deveria apresentar uma diminuição na permeabilidade, e essa característica está presente apenas no traço com 5%.

Gráfico 5 - Índice de absorção dos corpos de prova



Fonte: Do autor (2020).

Ao se comparar a porcentagem de absorção de água em relação a Tabela 13, descrita pela NBR 9781 (ABNT,2013), todos os traços abordados nesta pesquisa estão aceitos pela norma, podendo ter absorção média individual de água igual ou menor que 6%, não podendo apresentar valores maiores do que 7%.

Tabela 13 - Índice de absorção de água

| Solicitação | Índice de Absorção de água (%) |
|--------------------------|--------------------------------|
| Para valores médios | ≤6 |
| Para valores individuais | <7 |

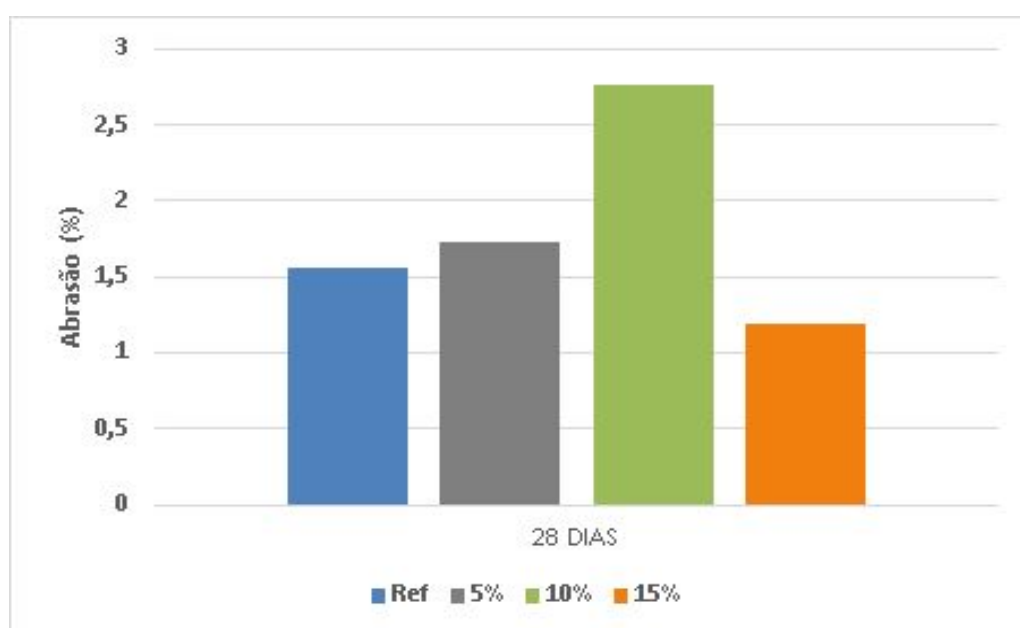
Fonte: ABNT NBR 9781 (2013).

4.3 Resistência à abrasão

Os dados obtidos através do ensaio de resistência à abrasão Los Angeles estão demonstrados no Gráfico 6. Através do gráfico é possível observar que com

exceção da adição de 15%, os traços com CCA apresentaram valores de perda de massa relativamente maiores que o traço de referência. O traço realizado com 10% de CCA apresentou a maior perda de massa por abrasão em comparação com o traço de referência, valor este 43,49% maior. O traço de 15% de CCA apresentou perda de massa inferior ao traço referência, resultando em um valor de aproximadamente 30,40% menor. Já o traço de 5% apresentou uma perda de massa bem próxima ao traço referência, apresentando uma porcentagem de 9,83% superior.

Gráfico 6 - Resistência à abrasão Los Angeles



Fonte: Do autor (2020).

4.4 Análise de Custo

Para a presente pesquisa foi desenvolvido um estudo da viabilidade econômica dos três traços desenvolvidos, para que fosse possível analisar qual a melhor opção para ser empregada na empresa, de modo que o traço escolhido atenda o desempenho mínimo exigido pela norma NBR 9781 (ABNT, 2013), e que possa ser mais atrativo financeiramente.

Foi levado em consideração para os custos dos agregados, apenas valores comerciais, sendo todos os materiais entregues na sede da empresa. Desta forma, os custos como mão-de-obra, administrativo e de energia, não foram contabilizados.

Na Tabela 14 apresentam-se os valores de custos de materiais e os respectivos valores por kg, expressos em reais, do traço adotado como referência na pesquisa. Os valores de custo do traço tomado como referência, bem como agregados, cimento (a granel) e aditivo, foram disponibilizados pela empresa parceira desta pesquisa, e são referentes a valores de maio de 2020. Em comparação estão expressos os valores unitários retirados de tabelas do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos Índice), referente a maio de 2020. Nota-se que os valores de brita, pó de brita e areia, cedidos pela empresa são relativamente menores que os valores apresentados pelo SINAPI, visto que esses agregados são adquiridos através de empresas locais da região.

A empresa FIDA (Caçapava do Sul-RS), que forneceu a CCA para o Latec não disponibilizou valores comerciais, pois ainda estão em processo de análise da viabilidade de comércio, e estão apenas empregando para uso próprio. Para análise financeira, a empresa cedeu o valor de custo gerado para a produção até o momento, algo em torno de R\$ 240 por tonelada. Para a água, foi adotado um valor simbólico de 0,05 centavos por kg.

Tabela 14 - Comparação de custos referência de pesquisa x referência SINAPI

| Material | R\$/kg | Traço referência | | Valores SINAPI | |
|--------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|
| | | kg/m³ | R\$/material | R\$/kg | R\$/material |
| Cimento | 0,45 | 54 | 24,3 | 0,45 | 24,3 |
| CCA | 0,24 | 0,0 | - | 0,0 | - |
| Areia | 0,025 | 130 | 3,22 | 0,0375 | 4,88 |
| Pó de brita | 0,021 | 102 | 2,14 | 0,0320 | 3,27 |
| Brita 0 | 0,024 | 65 | 1,56 | 0,0353 | 2,29 |
| Água | 0,05 | 32,4 | 1,62 | 0,05 | 1,62 |
| Aditivo | 7,175 | 0,7 | 5,02 | 12,44 | 8,71 |
| R\$/kg | | R\$ 37,87 | | R\$ 45,07 | |

Fonte: Do autor (2020).

Na Tabela 15 estão apresentados os valores em reais por kg, dos traços com emprego de adições de CCA. Os agregados e seus respectivos valores, também estão expressos na Tabela 15.

Tabela 15 - Comparação de custos de traços com utilização de CCA

| Material | R\$/kg | Traço 5% | | Traço 10% | | Traço 15% | |
|--------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|
| | | kg/m³ | R\$/material | kg/m³ | R\$/material | kg/m³ | R\$/material |
| Cimento | 0,45 | 51,3 | 23,09 | 48,6 | 21,87 | 45,9 | 20,66 |
| CCA | 0,24 | 2,7 | 0,65 | 5,4 | 1,30 | 8,1 | 1,94 |
| Areia | 0,025 | 130 | 3,22 | 130 | 3,22 | 130 | 3,22 |
| Pó de brita | 0,021 | 102 | 2,14 | 102 | 2,14 | 102 | 2,14 |
| Brita 0 | 0,024 | 65 | 1,56 | 65 | 1,56 | 65 | 1,56 |
| Água | 0,05 | 32,4 | 1,62 | 32,4 | 1,62 | 32,4 | 1,62 |
| Aditivo | 7,175 | 0,7 | 5,02 | 0,7 | 5,02 | 0,7 | 5,02 |
| R\$/kg | | R\$ 37,30 | | R\$ 36,73 | | R\$ 36,17 | |

Fonte: Do autor (2020).

Através dos comparativos realizados nas Tabelas 14 e 15, nota-se que todos os traços com adição de CCA em substituição do cimento apresentaram diminuição dos custos gerados para a produção. Podemos destacar o traço com adição de CCA de 15%, que teve maior diminuição de custo, em comparação ao traço referência, 4,70% ou R\$1,70. O traço com 10% de CCA apresentou uma boa diminuição de custos, 3,09% menor, seguido pelo traço com 5% que apresentou diminuição de custos de 1,52%, em comparação ao traço de referência, respectivamente R\$ 1,13 e R\$ 0,57 menores.

4.5 Síntese dos resultados

Baseando-se em todos os resultados analisados de resistência e durabilidade foi elaborada a Tabela 16, onde, os dados de cada ensaio e traço foram dispostos e comparados para encontrar o melhor resultado. O primeiro critério de aceitação foi analisar se o traço apresentou resistência característica à compressão acima da

mínima estipulada pela NBR 9781(ABNT, 2013). Podendo ser aplicado em locais com tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais, sendo assim o traço elaborado com 10% de CCA foi descartado, pois apresentou resultados abaixo desta mínima exigida, porém, este pavimento pode ser aplicado em locais com baixa circulação de veículos ou em calçadas. Os demais traços foram aprovados nesse quesito. O segundo critério foi analisar se os blocos atendem a porcentagem de absorção de água aceita por norma. Nesse quesito o traço com 5% apresentou uma taxa menor que a referência e o traço com 15% apresentou uma taxa próxima ao limite estabelecido por norma. Sendo assim, seu uso em locais com muita umidade não se torna recomendado.

Tabela 16 - Comparativo entre os resultados obtidos de cada traço

| Requisitos | T-REF | 5% CCA | 10% CCA | 15% CCA |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Resistência à compressão 28 dias (MPa) | 41,32 | 40,15 | 32,71 | 36,40 |
| Resistência a abrasão (%) | 1,559 | 1,729 | 2,759 | 1,196 |
| Índice de Absorção de água(%) | 5,157 | 4,863 | 5,567 | 6,129 |
| Análise de custos (R\$) | R\$ 37,87 | R\$ 37,30 | R\$ 36,73 | R\$ 36,17 |

Fonte: Do autor (2020).

Ao se analisar a resistência a abrasão o traço com 15% de CCA em substituição do cimento foi o único traço que apresentou uma melhor resistência a abrasão. Comparando-se a questão financeira o traço com maior porcentagem de CCA apresentou o menor custo, mas vale ressaltar que para análise de custos foi avaliado apenas o valor de custo da produção, sendo descartados questões como, transporte e porcentagem de lucro da empresa produtora deste resíduo.

5 CONCLUSÃO

5.1 Conclusões e considerações finais

O estudo do comportamento dos blocos de concreto produzidos resultou em valores de resistência à compressão já esperados. O traço com substituição parcial de cimento por CCA apresentou dois grandes destaques em relação às porcentagens de 5 e 15%, sendo que a porcentagem de 5% apresentou os maiores valores de média, ficando ligeiramente abaixo do traço referência. O traço com porcentagem de 15% apresentou ganhos de resistência, mas os valores ficaram abaixo do traço referência. Comparando os resultados com a NBR 9781 (ABNT, 2013), ambos os traços apresentaram resistência acima da mínima estabelecida, sendo aceitos pela norma.

Ao se analisar o aspecto de durabilidade dos blocos de concreto produzidos, realizado através dos ensaios de absorção de água e abrasão Los Angeles, destacam-se novamente os traço de 5 e 15%. No quesito abrasão o traço com 15% de CCA apresentou a melhor média de resistência a abrasão, e analisando o índice de absorção o traço com 5% apresentou os menores valores de média.

De maneira geral, conclui-se que o traço com adição de CCA que apresentou o melhor desempenho foi o traço com 15%. Mesmo apresentando resistência inferior ao traço de 5%, sua média de resistência à compressão axial ultrapassou a mínima exigida por norma. Da mesma forma, seu custo de produção é bastante interessante, visto que a maior empregabilidade de CCA na composição do concreto

é uma grande oportunidade de minimizar problemas ambientais gerados pelo descarte inadequado deste resíduo. Pensando em um provável futuro de uso de CCA na empresa parceira desta pesquisa, valeria estudar a viabilidade da queima da casca de arroz diretamente na planta da fábrica, pensado em um projeto com uma fornalha capaz de realizar a queima controlada deste material.

Contudo, acredita-se que os ensaios deveriam ser repetidos para confirmação dos dados, pois como foram utilizados maquinários industriais, alguns ajustes de calibração e regulação das máquinas poderiam resultar em uma melhor produção de blocos de concreto.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para trabalhos futuros, são apresentadas as seguintes possibilidades de alteração, ou complementação:

- Realizar novamente os ensaios de resistência à compressão, com a adição de uma idade de ensaio de 70 dias ou mais, visando avaliar o desenvolvimento da atividade pozolânica da CCA.
- Realizar ensaios adicionais de durabilidade do concreto, como ensaio de corrosão de íons cloreto e índice de vazios.
- Desenvolver traços com maiores teores de CCA, a fim de verificar se ocorrerão melhoras ou pioras nos resultados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público**. São Paulo, 2010. 36p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26**: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregados miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificações. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação - Especificações e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

BALDO, José T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. Oficina de Textos, 558 p. São Paulo, 2007.

BITTENCOURT, Sarah F. **Avaliação da resistência à compressão de pavers produzidos com agregados de resíduos de construção de demolição e areia de fundição**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Limeira, 2012.

BERNUCCI, Liedi B.; MOTTA, Laura M.G.; CERATTI, Jorge A.P.; SOARES, Jorge B. **Pavimentação asfáltica: formação para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008.

BEZERRA, Izabelle M.T; SOUZA, Jozilene; CARVALHO, João B.Q; NEVES, Gelmires A. **Aplicação da cinza da casca de arroz em argamassas de assentamento**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2011

CAMARGO, Raieno S. **Estudo de pavimento intertravado: propriedades e patologias dos blocos em Palmas**. Monografia (Graduação) - Centro Universitário Luterano de Palmas. ULBRA, 2016.

CLEMENTINO, Felipe C; BARROS, Guilherme R.; SANTOS, Pedro G.D. **Processo produtivo em uma indústria de artefatos de concreto**. Universidade Federal de Goiás - Eng.Civil. 2014

ENGENHARIA É. **Ilustração do produto casca de arroz**. Disponível em: <<https://engenhariae.com.br/meio-ambiente/cascas-de-arroz-poder-ser-usadas-para-construir-casas-a-precos-acessiveis-nas-filipinas>>. Acesso em: 23 de outubro 2019.

FERNANDES, Idário D. **Blocos e Pavers - Produção e Controle de Qualidade**. 3° ed. 182 pg. 2012

GUIA VIAJAR MELHOR. **Turismo através da Via Ápia**. Disponível em: <<https://www.guiaviajarmelhor.com.br/passeio-privado-para-via-apia-e-catacumbas-de-roma/>>. Acesso em: 23 de outubro 2019.

HOFFMANN, R.; JAHN, S.L.; BAVARESCO, M.; SARTORI, T.C. **Aproveitamento da cinza produzida na combustão da casca de arroz: estado da arte**. Artigo - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2010.

ISAIA, Geraldo C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. Cap. 8, Adições Minerais. IBRACON, 2011.

KÖHLER, Lucas G. **Desempenho Técnico de Blocos de Concreto para Pavimento Intertravado com Resíduo de Construção e Demolição**. Universidade Federal do Pampa - Eng.Civil. UNIPAMPA. 2013

LUDWIG, Douglas G. **Concreto com adição de cinza de casca de arroz**. Universidade do Vale do Taquari - Univates. Lajeado, 2014.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Projeções do agronegócio: Brasil 2017/2018 a 2027/28**. 9ª edição. 2018.

POUEY, Maria T.F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - PPGEC. Porto Alegre, 2006.

PILECCO NOBRE. **Sílica Ecológica e Energia Renovável**. Disponível em: < <https://pilecconobre.com.br/silica/> >. Acesso em: 22 de outubro de 2019.

SENÇO, Wlastermiller. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. Vol. 2, 670p. PINI: São Paulo, 2001.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISAS DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL - **SINAPI**: Tabela de insumos referente ao à maio de 2020. Disponível em:< <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/referencias-precos-insumos/Paginas/default.aspx> >. Acesso em: 26 de junho de 2020..

TASHIMA, Mauro M.; SOUSA, Leandro C.; AKASAKI, Jorge L.; SILVA, Everton J.; MELGES, José L.; BERNABEU, Jorge J.P. **Reaproveitamento da cinza de casca de arroz na construção civil**. IV International ACI/CANMET Conference on quality of concrete structures and recent advances in concrete material end testing. Anais do IV HPC. Olinda, 2003.

WIEBBELLING, Paula O.G. **Pavimento com blocos intertravados de concreto: estudo de caso na univates**. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil - Univates, Lajeado. 2015.